



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN- TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Potencial Hídrico de la Microcuenca Almendra para uso potable
Moyobamba

TESIS

Para Obtener el Título de:
INGENIERO AMBIENTAL

Autor:

Bach. PINUCCIA ISIDORA VASQUEZ VELA

Asesor:

Blgo. M. Sc. ASTRIHT RUIZ RIOS

Moyobamba - Perú

2006

Nº de Registro: 06060306



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGIA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín – T sede Moyobamba, y siendo las once a.m. del día viernes 12 de mayo del dos mil seis, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Ing. RUBÉN RUIZ VALLES
Ing. ELÍAS TORRES FLORES
Ing. ALFONSO ROJAS BARDALEZ

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO


Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RIOS

ASESOR


Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado “**POTENCIAL HÍDRICO DE LA MICROCUENCA ALMENDRA PARA USO POTABLE**”, presentado por la Bachiller en Ingeniería Ambiental **PINUCCIA ISIDORA VASQUEZ VELA**; según **Resolución N° 050-2004-UNSM-T/CTGFE** de fecha **04-08-2004**

Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIDAD**, con el calificativo de: **BUENO** y nota **QUINCE (15)**.

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las **12:30 horas** del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.




Ing. RUBEN RUIZ VALLES
Presidente



Ing. ELÍAS TORRES FLORES
Secretario



Ing. ALFONSO ROJAS BARDALEZ
Miembro



Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RIOS
Asesor

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis se los dedico a mi querido papá *Juan Pablo Vásquez Vásquez* (q.e.p.d) quien desde el cielo debe estar muy contento porque uno de los sueños que él tuvo fue que yo fuera profesional y a mi querida mamá *Felita Vela de Vásquez*, quien se esforzó mucho para darnos a mis hermanos y a mi una profesión con la cual podamos defendernos en la vida.

A mi abuelita *Isidora*, mis hermanos *Allison* y *Juan Pablo* y mi prima *Nelly* y mi sobrina *Flavia*, porque siempre están a mi lado

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ecología.
- A la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda. por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo de tesis.
- Al coordinador y al equipo técnico del Departamento de Medio Ambiente y Saneamiento de la EPS.
- A mi asesora Blgo. M.Sc. Astriht Ruiz Ríos y coasesores Ing. M.Sc. Santiago Casas Luna y Lic. Ronald Julca Urquiza.
- A Elder porque siempre estuvo a mi lado cuando necesité su ayuda.
- A mis amigas y amigos porque de una u otra forma siempre me apoyaron.

INDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Índice de cuadros.....	viii
Índice de gráficos.....	ix
Índice de figuras.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	2
2.1. El agua.....	2
2.2. Ciclo hidrológico.....	3
2.3. Parámetros de calidad y límites máximos permisibles.....	4
2.4. Grupo coliforme (coliforme total).....	5
2.5. Organismos coliformes fecales (termotolerantes).....	5
2.6. Cloruros.....	6
2.7. Dureza.....	6
2.8. pH.....	7
2.9. Sulfato.....	7
2.10. Sólidos totales disueltos.....	7
2.11. Turbiedad.....	8
2.12. Nitratos.....	8
2.13. Conductividad eléctrica.....	9
2.14. Muestra.....	9
2.15. Muestra simple o puntual.....	9
2.16. Modelo Hidrológico.....	10
2.17. Herramienta para la evaluación del suelo y el agua - Soil and Water Assessment Tool (SWAT).....	10
2.18. Balance Hídrico.....	11
2.19. Escorrentía o escurrimiento superficial.....	11

2.20.	Infiltración	12
2.21.	Evapotranspiracion	13
2.22.	Número de curva de escorrentía (CN)	13
2.23.	Clasificación hidrológica de los suelos	13
2.24.	Condición hidrológica del suelo	14
2.25.	Flujo lateral	15
2.26.	Percolación	15
2.27.	Flujo de retorno	16
2.28.	Medición de caudal	16
III.	MATERIALES Y METODOS	17
3.1.	Materiales	17
3.1.1.	Material y equipo de escritorio	17
3.1.2.	Material y equipo informático	17
3.1.3.	Material, reactivo y equipo de laboratorio	17
3.1.4.	Material para la toma de muestra	18
3.1.5.	Material y equipo para la medición de caudal	18
3.1.6.	Vestuario y otros	18
3.2.	Métodos	19
3.2.1.	Determinación de la cantidad de agua en la microcuenca Almendra	19
3.2.2.	Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra	25
3.2.3.	Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra	26
3.2.4.	Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra.	27
IV.	RESULTADOS	28
4.1.	Determinación de cantidad de agua en la microcuenca Almendra	28
4.2.	Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra	35
4.3.	Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra	36
4.4.	Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra	41
V.	DISCUSION DE RESULTADOS	43
5.1.	Determinación de cantidad de agua en la microcuenca Almendra	43
5.2.	Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra	44
5.3.	Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra	44
5.4.	Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra	48

VI. CONCLUSIONES	50
VII. RECOMENDACIONES	51
VIII.BIBLIOGRAFIA	52

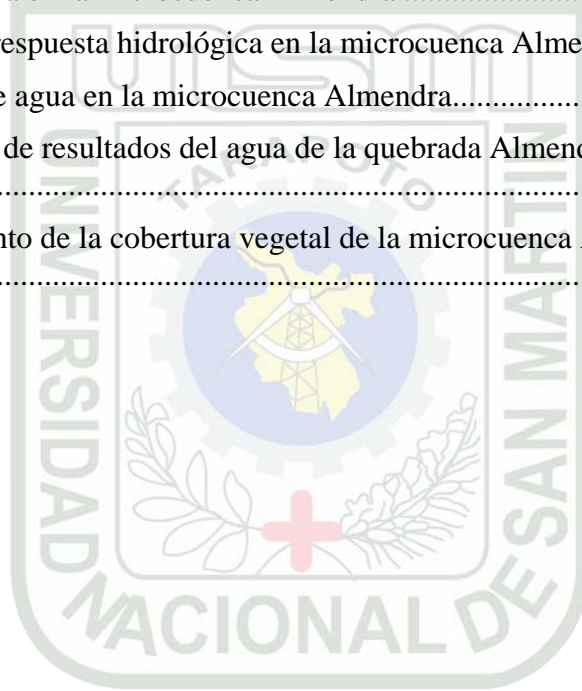
ANEXOS

- Anexo N° 01: Láminas
- Anexo N° 02: Fichas de lectura
- Anexo N° 03: Manual para análisis fisicoquímicos
- Anexo N° 04: Panel fotográfico



INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01: Parámetros de calidad y límites máximos permisibles	5
Cuadro N° 02: Factor de corrección para velocidad media	200
Cuadro N° 03: Archivos en formato digital.....	222
Cuadro N° 04: Estación metereológica de Moyobamba.....	233
Cuadro N° 05: Caudal de la quebrada Almendra	28
Cuadro N° 06: Uso de la tierra en la microcuenca Almendra	300
Cuadro N° 07: Unidades de respuesta hidrológica en la microcuenca Almendra	322
Cuadro N° 08: Producción de agua en la microcuenca Almendra.....	344
Cuadro N° 09: Comparación de resultados del agua de la quebrada Almendra y la suministrada	38
Cuadro N° 10: Reconocimiento de la cobertura vegetal de la microcuenca Almendra	411



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Curva de calibración de caudales	29
Gráfico N° 02: Caudales promedio diarios de la quebrada Almendra	29
Gráfico N° 03: Comparación de precipitación y caudal simulado en la microcuenca Almendra (1999 – 2005)	333
Gráfico N° 04: Aporte de sedimentos en toneladas/hectárea por cada unidad de respuesta hidrológica	344
Gráfico N° 05: Producción de agua por divisoria de agua en la microcuenca Almendra	355
Gráfico N° 06: Relación entre la precipitación registrada por los pluviómetros de la estación de Moyobamba y la microcuenca Almendra.....	355
Gráfico N° 07: Cantidad de coliformes totales y termotolerantes mensuales en la quebrada Almendra	366
Gráfico N° 08: Turbiedad mensual de la quebrada Almendra.....	377
Gráfico N° 09: pH mensual de la microcuenca Almendra	38
Gráfico N° 10: Conductividad eléctrica mensual de la quebrada Almendra.....	38
Gráfico N° 11: Dureza mensual de la quebrada Almendra.....	39
Gráfico N° 12: Cloruros mensuales de la quebrada Almendra.....	39
Gráfico N° 13: Sulfatos mensuales de la quebrada Almendra.....	400
Gráfico N° 14: Nitratos mensuales en la quebrada Almendra.....	400
Gráfico N° 15: Sólidos totales disueltos mensuales en la quebrada Almendra	411

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Modelo Digital de Elevación de la Microcuenca Almendra.....	311
Figura N° 02: Relieve de la microcuenca Almendra	322



RESUMEN

En esta época que la mayoría de ciudades sufren por la escasez de agua, una alternativa es explorar nuevas fuentes para el abastecimiento. La ciudad de Moyobamba se abastece de dos quebradas; una de ellas se encuentra en la microcuenca Almendra.

La presente tesis denominada “Potencial Hídrico para Uso Potable de la Microcuenca Almendra”, evalúa diferentes aspectos que influyen en la capacidad que tiene la microcuenca para abastecer de agua a la ciudad de Moyobamba.

El trabajo contempla la evaluación de cuatro indicadores importantes dentro de la microcuenca: el caudal, la precipitación, la calidad del agua y la cobertura vegetal. Para cada indicador se utilizó un determinado método para su evaluación.

El caudal de la quebrada fue evaluado utilizando un limnómetro colocado aproximadamente a 50 metros aguas arriba de la captación de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda. en se mide la altura de la lámina de agua y a través de aforos se determinó la curva de calibración del caudal y utilizando la fórmula de la curva potencial se determina el caudal diario de la quebrada. Para conocer los caudales pasados se hizo uso del programa *Soil and Water Assessment Tool* (Herramienta para la evaluación del suelo y el agua), para lo que se utilizaron datos climatológicos desde 1999 hasta 2004 de la estación meteorológica de Moyobamba, mapa de suelos y mapa de uso de la tierra, los que al ser combinados en el programa arrojaron como resultado el comportamiento del caudal para el periodo 1999-2004; además, se determinó la cantidad de sedimentos aportados al caudal y la producción de agua en la microcuenca.

La precipitación se evaluó utilizando un pluviómetro, con el que se tomaban lecturas tres veces al día y luego se hizo una comparación con los datos de la precipitación obtenida de la estación meteorológica de la ciudad de Moyobamba, pudiendo determinar que la variación entre ambas estaciones se da por la altura y la topografía del terreno.

Se evaluaron diferentes parámetros para determinar la calidad del agua, los cuales no sobrepasan lo límites máximos permisibles establecidos por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento en la Directiva N° 1121-99/SUNASS, lo que nos indica que el agua captada por al EPS Moyobamba es de buena calidad; para finalizar el trabajo se hizo un reconocimiento del tipo de cobertura vegetal existente en la microcuenca.

ABSTRACT

At this time that most of cities suffer by the water shortage, an alternative is to explore new sources for the supplying. The Moyobamba city is supplied by two broken ones; one of them is Almendra microriver basin.

The present thesis denominated "Hydric Potential for Potable Use from Almendra Microriver basin", evaluates different aspects that influence in the capacity that has microriver basin to supply from water to the Moyobamba city.

The work contemplates the evaluation about four important indicators, within the microriver basin: the volume, the precipitation, the water quality and the vegetal cover. For each indicator a certain method for its evaluation was used.

This, of the gorge was evaluated using limnimetro placed approximately to 50 meters waters above of the pick up of the Services Lending Organization of Moyobamba Cleaning SRLtda. The water height lamina is moderate and through gaugings the calibration chart of the volume was determined, using the potential curve determined formula the daily volume of the gorge is determinate. To know the volumes heavy became use of the *Soil* program and *Water Assessment Tool* (Tool for the ground and the water evaluation), for which climatologic data from 1999 to 2004 of the weather station of Moyobamba, ground map and Earth map use were used, those that to the being combined in the program threw as like the behavior of the volume for the period 1999-2004; besides that, it was determined the sediments amount contributed to water production in the microriver basin.

The precipitation was evaluated using a rain gauge, with that readings were taken three times to the day and soon a comparison with the data was made of the obtained precipitation of the weather station of the Moyobamba city, being able to determine that the variation between both stations occurs by the height and the topography of the land. Different parameters were evaluated to determine the quality water, which do not exceed the maximums limits permissible established by the Services of Cleaning National Supervision in the Director N° 1121-99/SUNASS, which indicates to us that the water caught by the EPS Moyobamba is of good quality; in order to finalize the work a recognition was made of the existing vegetal type cover in the microriver basin.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el mundo se enfrenta a graves y complejos problemas relacionados con el agua, la cual debe ser salvaguardada para el disfrute de las generaciones presentes y futuras, ya que ninguna de las necesidades humanas básicas puede ser satisfecha sin tomar en cuenta el papel desempeñado por el agua (Prieto, 2002)

Toda el agua que utiliza la humanidad procede de la precipitación del vapor acuoso de la atmósfera en forma de lluvia, granizo o nieve y escarcha (Prieto, 2002). Parte del volumen total precipitado se infiltra en el suelo, otra se evapora y una tercera escurre por los drenes naturales conformados por las quebradas y los ríos (Reyes, 1992). Estas forman parte del área natural denominada cuenca hidrográfica. La importancia de esta área radica en el uso que se le da al agua, ya sea para irrigación de cultivos o para uso potable.

La microcuenca Almendra se encuentra ubicada en la margen derecha de la cuenca alta del Río Mayo y pertenece a la jurisdicción del distrito de Moyobamba, en cuya área de influencia se encuentra una de las fuentes de agua para consumo de la población de Moyobamba, la misma que es administrada por la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento S.R.Ltda.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo general el siguiente:

- Evaluar el potencial hídrico para uso potable de la microcuenca Almendra.

Teniendo como objetivos específico los siguientes:

- Determinar la cantidad de agua de la microcuenca Almendra.
- Determinar la precipitación caída en la microcuenca.
- Realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.
- Realizar un reconocimiento del tipo de cobertura vegetal.

En este contexto para la evaluación se hizo uso de la herramienta para la evaluación del suelo y el agua, llamado SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para evaluar el caudal, la producción de agua y los sedimentos presentes en dicha microcuenca.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. El agua

Es un compuesto con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural.

El agua, al igual que el fuego, la tierra y el aire, fue para los griegos uno de los cuatro elementos que formaron el mundo. El griego Tales de Mileto creía que el agua era el principio de todas las cosas existentes. Más tarde Empédocles, seguido por Platón y Aristóteles, la consideró como uno de los cuatro elementos básicos del universo, y luego, a fines del siglo XVIII, nadie puso en duda que el agua fuera un elemento simple. En 1775 el químico francés Macquer obtuvo algunas gotas de agua por combustión del hidrógeno; pese a ello, tres años después escribía que el agua parecía ser “una sustancia inalterable e indestructible” que no podía ser descompuesta; tal era la tenacidad con que se mantenían las ideas de Platón y Aristóteles.

Pero una serie de experiencias químicas demolerían las viejas nociones. El primero fue el físico y químico inglés Henry Cavendish, quien en 1781 al estudiar los gases demostró que el agua es el resultado de una combinación del hidrógeno llamado “aire inflamable” con el oxígeno de la atmósfera llamado “aire vital”.

Grandes científicos como Monge, Priestley y Watt contribuyeron al descubrimiento de la composición del agua. Pero el químico francés Lavoisier, asistido por el futuro astrónomo Laplace, a quien corresponde el mérito de haber comprendido y explicado la verdad: el 24 de junio de 1783, logró una verdadera síntesis del agua a partir de oxígeno e hidrógeno, demostrando que es un compuesto de esos elementos; poco tiempo después realizó la experiencia inversa de la descomposición del agua. Lavoisier fue, por lo demás, quien dio sus nombres actuales al oxígeno y al hidrógeno (este último quiere decir “productor de agua”).

Hoy en día se sabe que la molécula de agua resulta de la combinación de un átomo de oxígeno con dos de hidrógeno: molécula aparentemente simple, pero

cuyas propiedades extraordinarias constituyen el fundamento mismo de la vida terrestre (García *et al*, 2001).

2.2. Ciclo hidrológico

Dentro de los ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en el ecosistema planetario, el ciclo hidrológico es tal vez el más conocido y ocupa un puesto importante. El ciclo hidrológico es el proceso continuo de la circulación del agua, en sus diversos estados, en la esfera terrestre. Sucede bajo la influencia de la radiación solar, la acción de la gravedad y la dinámica de la atmósfera, la litósfera y la biosfera. Las diferentes fases del ciclo son el marco de referencia para el estudio del estado y del comportamiento del agua.

El ciclo hidrológico y el balance de agua global son el modelo básico para entender el funcionamiento del sistema hídrico atmosférico movido básicamente por la energía solar, el cual es el enlace vital entre el océano y el continente, mediante la circulación y transformación del agua a través de la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biosfera.

El agua se evapora desde el océano hacia la atmósfera en grandes proporciones (86%) y en menor grado desde el continente (14%), siendo el viento el agente transportador del vapor de agua a distancia hasta encontrar condiciones propicias para la condensación, reiniciándose así un nuevo ciclo hidrológico.

Se estima que el volumen total de agua contenido en la hidrósfera es 1.389 millones de km³. de este volumen 96.5% se encuentra en los océanos como agua salada y el 3.5% restante, como agua dulce proveniente del continente. De este último porcentaje el 69% se encuentra en forma sólida en los glaciares y el 30% como agua subterránea, quedando solamente el 1% que conforma los ríos y los cuerpos de agua (Christophenson, 1997).

Al concluir un ciclo completo, retorna directamente al mar el 78% como precipitación y del 22% restante, precipitado en el continente, el 8% llega al mar por escorrentía superficial y subterránea (Dingman, 1994).

El ciclo hidrológico está gobernado por procesos naturales que ocurren de manera continua. El agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida (nieve, granizo, etc.), parte de la cual puede ser evaporada antes de tocar

la superficie terrestre. Aquella fracción que alcanza la vegetación es parcialmente retenida por las hojas de las plantas (intercepción). De allí una parte es evaporada nuevamente hacia la atmósfera, en tanto que la fracción restante cae hacia el suelo, donde puede infiltrarse o escurrir por las laderas, siguiendo la dirección de las mayores pendientes del terreno.

La fracción que se infiltra puede seguir tres rutas bien definidas: una parte es absorbida por las raíces de las plantas y llega a formar parte del tejido vegetal o bien, es liberada a través del proceso de transpiración hacia la atmósfera. Otra cantidad puede desplazarse paralelamente a la superficie a través de la zona no saturada del terreno, como flujo subsuperficial, hasta llegar a florar en los nacimientos o manantiales o continuar infiltrándose hasta alcanzar la zona saturada, donde recargará el almacenamiento de aguas subterráneas; de esta última, una parte alimenta el caudal de los cursos de agua (donde exista conexión hidráulica) como caudal de base.

El agua que escurre a lo largo de las laderas puede ser interceptada por las depresiones naturales del terreno, donde se evapora o infiltra, o finalmente se mueve a través de los drenajes naturales de la cuenca y forma el flujo superficial. Estos tres flujos superficial, subterráneo y subsuperficial conforman la escorrentía que integra los cauces de las corrientes, alimenta los diferentes almacenamientos y drena finalmente hacia el mar (García *et al*, 2001).

2.3. Parámetros de calidad y límites máximos permisibles.

El agua potable, también llamado para consumo humano, debe cumplir con los disposiciones legales nacionales dados por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, uno de estos dispositivos es la Directiva N° 1121-99/SUNASS sobre los límites máximos permisibles. Los principales parámetros de calidad de agua y límites máximos permisibles (LPM) referenciales para el agua potable, se indican en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 01: Parámetros de calidad y límites máximos permisibles

Parámetro	LPM
Coliformes totales, UFC ¹ /100 ml	0 (ausencia)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 ml	0 (ausencia)
Sólidos totales disueltos, mg/l	1000
pH	6.5 – 8.5
Turbiedad, UNT ²	5
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}^3$ ³	1500
Cloruros, mg/l	250
Sulfatos, mg/l	400
Dureza, mg/l	500
Nitratos, mg NO ₃ /l	50

Fuente: SUNASS⁴, 1999

2.4. Grupo coliforme (coliforme total)

Se caracterizan por su capacidad para fermentar lactosa en cultivos a 35° o 37°C, entre ellos se encuentran las especies *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Si bien las bacterias coliformes pueden no tener una relación directa con la presencia de virus en el agua potable, el uso de la prueba de coliforme sigue siendo esencial para vigilar la calidad microbiana del agua en los sistemas de abastecimiento público (OMS, 1985).

2.5. Organismos coliformes fecales (termotolerantes)

Todos los coliformes pueden existir ya sea como saprófitos o como intestinales, excepto el género *Escherichia*, que sólo puede tener origen intestinal. Esta bacteria puede desarrollarse a temperaturas de 44.5°C, de allí el término termotolerante. Generalmente otros coliformes son eliminados por la temperatura elevada, pero un alto porcentaje de *Klebsiella* es también

¹ Unidades formadoras de colonias

² Unidades nefelométricas de turbiedad

³ Microsiemens/cm

⁴ Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

termotolerante. La presencia de *Escherichia coli* indica contaminación fecal y la probabilidad de presencia de otros patógenos entéricos (OMS, 1985).

2.6. Cloruros

Se halla distribuido ampliamente en la naturaleza, por lo general en forma de sales de sodio (NaCl), de potasio (KCl) y sales de calcio (CaCl₂). Constituye aproximadamente un 0.05% de la litósfera. La mayor cantidad del cloruro existente en el ambiente se encuentra en los océanos.

La presencia de cloruros en las aguas naturales puede atribuirse a la disolución de depósitos de sal, las descargas de agua servidas, el drenaje de irrigaciones, etc. cada una de estas fuentes puede ocasionar contaminación local tanto del agua superficial como subterránea.

El umbral de sabor para el cloruro en el agua potable dependerá del catión que se le asocie, pero, por lo general está entre 200 y 300 mg/l (OMS, 1985).

2.7. Dureza

Es la medida tradicional de la capacidad del agua para reaccionar con el jabón, el agua dura requiere una gran cantidad de jabón para poder producir espuma. La causa de la dureza del agua es debida a iones metálicos polivalentes disueltos. En el agua dulce, los principales iones que originan dureza son el calcio y el magnesio. El grado de dureza del agua potable se ha clasificado en términos de su concentración de CaCO₃, de la manera siguiente:

- Blanda 0 – 60 mg/l
- Medianamente blanda 60 – 120 mg/l
- Dura 120 – 180 mg/l
- Muy dura 180 mg/l a más.

Las fuentes naturales principales de la dureza del agua provienen del terreno y son las rocas sedimentarias, las percolaciones y la escorrentía. El agua dura normalmente se origina en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y existen formaciones calcáreas. Por lo general, el agua subterránea es más dura que el agua superficial.

Un nivel de dureza de aproximadamente 100 mg/l de CaCO_3 , proporciona un equilibrio aceptable entre corrosión y los problemas de incrustación (OMS, 1985).

2.8. pH

Definido como un valor numérico u operador adimensional que se relaciona con el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno a una temperatura dada, indica la intensidad del carácter ácido (acidez) o básico (alcalinidad) del agua y puede variar entre 0 y 14, donde cero es el valor más ácido, 7 es neutro y el 14 el más básico, controlado por los compuestos químicos disueltos (García *et al*, 2001).

2.9. Sulfato

La mayoría de sulfatos son solubles en el agua, con excepción de los sulfatos de plomo, bario y estroncio. El sulfato disuelto se considera como un soluto permanente del agua.

Las concentraciones elevadas de sulfato en el agua pueden contribuir a la corrosión de los metales en el sistema de distribución, sobre todo en aguas con un bajo índice de alcalinidad (OMS, 1985).

2.10. Sólidos totales disueltos

La Organización Mundial de la Salud (1985) dice: Los sólidos totales disueltos (STD) en el agua comprenden sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los principales iones que producen sólidos totales disueltos son carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio, estos influyen sobre otras características del agua, es decir, en el sabor, dureza, propiedades de corrosión y tendencia a la incrustación.

Los sólidos totales disueltos en el agua puede deberse a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, escurrimientos urbanos o descargas de desechos industriales. Se sostiene que las sales minerales disueltas afectan el sabor del agua; el buen sabor del agua se ha clasificado según el nivel de sólidos totales disueltos, como sigue:

- Excelente menos de 300 mg/l
- Bueno entre 300 y 600 mg/l
- Aceptable entre 600 y 900 mg/l
- Regular entre 900 y 1200 mg/l
- Inaceptable mayor de 1200 mg/l

2.11. Turbiedad

La turbiedad definida, en términos generales, como una mezcla que oscurece o disminuye la claridad natural o transparencia del agua o, en términos más técnicos, como una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz se disperse y absorba, en lugar de transmitirse en línea recta a través del agua, es producida por materias en suspensión como arcilla o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. Tales partículas varían en tamaño desde 0.1 hasta 1000 nm (nanómetros) de diámetro.

La turbidez de un cuerpo o corriente de agua natural es un factor decisivo para establecer la calidad y productividad de estos sistemas. La mayoría de las aguas superficiales tiene una turbidez importante y, aunque a veces no limita la posibilidad de uso del agua para consumo humano, sí lo hace sobre la calidad química y bacteriológica.

La turbidez puede variar con la época del año, la actividad biológica y el transporte de partículas de suelos por escorrentía y/o proceso de erosión. La lluvia intensa provoca variaciones horarias de turbidez (García *et al*, 2001).

2.12. Nitratos

Son producto de la oxidación del nitrógeno orgánico por las bacterias presentes en el suelo y en el agua, cuando el oxígeno presente es suficiente. Uno de los usos principales del nitrato es como fertilizante; sin embargo, la mayor parte de otros fertilizantes que contienen nitrógeno, se convertirán en nitrato al entrar en contacto con el suelo. El

uso de fertilizantes, la materia orgánica descompuesta de origen animal y vegetal, los efluentes domésticos, la eliminación de lodos cloacales en el terreno entre otros son factores que contribuyen a la presencia de nitratos en las fuentes de agua (OMS, 1985).

2.13. Conductividad eléctrica

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica, depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia, concentración relativa y temperatura de medición. La conductividad eléctrica se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e indica el contenido de sales disueltas o de minerales en el agua (mineralización).

Los intervalos de conductividad eléctrica de las aguas superficiales varían de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, especialmente en aguas superficiales que reciben una gran cantidad de aguas residuales contaminadas. La conductividad está relacionada con las zonas de contaminación alrededor de la descarga de un efluente y su seguimiento puede ser utilizado para estimar la extensión de la influencia del mismo; los valores asumidos por esta variable determinan el uso potencial del agua, debido a que el efecto de las actividades domésticas e industriales modifican los valores naturales de la conductividad (García *et al*, 2001).

2.14. Muestra

Es una o más porciones de un volumen o masa definida, colectadas en cuerpos receptores, efluentes industriales, redes de abastecimiento público, estaciones de tratamiento de aguas, etc., con el fin de determinar sus características físicas, químicas, fisicoquímicas o biológicas (Ministerio de salud, 2000)

2.15. Muestra simple o puntual

Es aquella muestra que representa la composición del efluente residual, vertimiento o cuerpo de agua original, para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su colección. En tales

circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales y más raramente, algunas corrientes de aguas residuales (Ministerio de salud, 2000).

2.16. Modelo Hidrológico

Un modelo hidrológico comprende un conjunto de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular numéricamente los procesos identificados en el estudio (Muñoz, 1998).

Los resultados de la modelación son muy útiles en el apoyo, planificación y diseños de obras hidráulicas, como también para tener un mejor conocimiento de los procesos que intervienen en la transformación de lluvia en escurrimiento (Montenegro *et al*, 1998).

Los modelos hidrológicos reproducen matemáticamente el fenómeno de transformación de lluvia en caudal. Tienen la ventaja de poder simular aceptablemente el proceso hidrológico de la generación de la avenida, si se estiman los parámetros necesarios. Su principal limitación es precisamente la elección adecuada de los parámetros, errores en esta etapa, inducen a obtener resultados que no corresponden a la realidad (Muñoz, 1998).

2.17. Herramienta para la evaluación del suelo y el agua - Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas, diseñaron el programa Soil and Water Assessment Tool (SWAT), que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua, en cuencas hidrográficas (Arnold *et al*, 1999).

El SWAT posee una interfase con ArcView GIS 3.3, la cual hace más sencillo su manejo y utilización. Su obtención es gratuita y puede bajarse de la página de internet⁵ (Arnold *et al*, 1999)

La información de entrada requerida por el programa para cada subcuenca es agrupada y organizada dentro de las siguientes categorías: topografía de la microcuenca, suelos, uso del suelo, precipitación, clima (temperatura, viento, radiación solar), lagunas o reservorios y agua subterráneas. El programa se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento del agua en la microcuenca (Arnold *et al*, 1999).

2.18. Balance Hídrico

La hidrología del modelo se fundamenta en el concepto del balance de agua, el cual considera el agua que entra, sale y se almacena en la cuenca como lo describe la siguiente ecuación:

$$SW_t = SW + \sum (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$$

Donde SW_t , es el contenido de agua en el suelo en el día t , SW es el agua aprovechable por las plantas o el contenido de agua en el suelo menos el contenido de agua a 15 bar, t es el tiempo en días, R es la precipitación diaria, Q la cantidad de escorrentía diaria, ET la evapotranspiración diaria, P la percolación diaria y QR el flujo de retorno o flujo base; todas las unidades son en milímetros (Arnold *et al*, 1999).

2.19. Escorrentía o escurrimiento superficial

La escorrentía o escurrimiento superficial es la porción de lluvia que fluye sobre el suelo en zonas de ladera o de pendiente. La escorrentía se origina de dos formas: por las lluvias de baja intensidad y larga duración que saturan el suelo y en consecuencia, el agua al no poder penetrar en el suelo (infiltrarse) fluye por la superficie pendiente abajo

⁵ <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html>

por el camino de menor resistencia; o por las lluvias de alta intensidad que sobrepasan la capacidad de infiltración del suelo y por ende se desliza superficialmente el agua de exceso (Morgan, 1986). Estos flujos superficiales transportan hasta los canales de drenaje, naturales o no, los sedimentos que han sido desprendidos por el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo y los que este flujo puede desprender de la capa superficial del suelo.

La cantidad de escorrentía es estimada por medio del número de curva establecida por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, con datos de lluvia diarios. Esta ecuación está fundamentada en que la escorrentía (Q) es el agua que no logra infiltrarse en el suelo y por ende Q está determinada por el suelo, la cobertura del suelo y la práctica de manejo que en este se realice (Arnold *et al*, 1999).

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s} \quad R > 0.2s$$

$$Q = 0.0 \quad R \leq 0.2s$$

Donde Q es el escurrimiento diario, R es la lluvia diaria y s es el parámetro de retención, este parámetro está relacionado con el número de curva (CN) (Arnold *et al*, 1999).

$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

La constante, 254 en la ecuación arroja s en mm. Así, R y Q también son expresados en mm (Arnold *et al*, 1999).

2.20. Infiltración

El agua que penetra en el suelo o infiltración puede tomar varios caminos: incrementar la humedad del suelo en la zona radical, moverse subsuperficialmente como flujo lateral hacia los canales de drenaje, recargar acuíferos poco profundos, donde esta agua también llegará hasta los canales de drenaje (flujos de retorno) y recargar acuíferos

profundos. En todo caso es importante recordar que el agua se mantiene en un continuo ciclo y aunque el agua se encuentre en acuíferos profundos, este puede hacer parte nuevamente de la precipitación (Arnold *et al*, 1999).

2.21. Evapotranspiracion

Es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los factores que intervienen en la evapotranspiracion son los mismos que afectan la evaporación son: el suministro de energía, el transporte de vapor y la humedad de la superficie (Gonzalo *et al*, 2004).

2.22. Número de curva de escurrentía (CN)

Representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Análisis empíricos condujeron a deducir que el CN es función de tres factores: clases de suelo, la cobertura y las condiciones de humedad antecedentes (García *et al*, 2001).

2.23. Clasificación hidrológica de los suelos

Más de 4000 suelos fueron clasificados basándose en su potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en cuatro grupos de suelos hidrológicos, los cuales se identifican con las letras A, B, C y D.

Suelo tipo A: Potencial de escurrimiento bajo, suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.

Suelo tipo B: Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua.

Suelo tipo C: Suelos con capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.

Suelos tipo D: Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja (Gonzalo *et al*, 2004).

2.24. Condición hidrológica del suelo

El tipo de vegetación y la densidad de la cobertura en la cuenca tienen una gran influencia en la capacidad de infiltración del suelo. Se definieron las siguientes categorías de cobertura para pasto natural. El porcentaje se estima cualitativamente en los planos respectivos:

Pobre = Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo.

Aceptable = 50 al 75% del área cubierta por pasto. Intensidad media de pastoreo.

Buena = 75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.

La condición hidrológica de los bosques se determina cualitativamente como:

Pobre = Bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal.

Aceptable = Con algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.

Buena = Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie (Gonzalo *et al*, 2004).

2.25. Flujo lateral

El flujo lateral es el agua que se mueve por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel de los acuíferos, la cual fluye subsuperficialmente y alimenta los canales de drenaje, quebrados y ríos. El flujo subsuperficial lateral es calculado simultáneamente con la percolación para el perfil del suelo entre 0 – 2 metros mediante un modelo de almacenamiento cinético, que usa la ecuación de conservación de la masa con el perfil entero del suelo como el volumen de control (Arnold *et al*, 1999).

$$\frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = i L \frac{q_{lat1} + q_{lat2}}{2}$$

Donde **S** es el volumen drenable de agua almacenada en la zona de saturación en m/m (mayor de capacidad de campo), **t** es el tiempo en horas, **q_{lat}** es el flujo lateral en m³/h, **i** es la tasa de agua de entrada en la zona de saturación en m²/h, **L** es la longitud de la pendiente de la cuesta en m, y los sufijos **1** y **2** se refieren al comienzo y final del intervalo de tiempo, respectivamente (Arnold *et al*, 1999).

2.26. Percolación

El agua de percolación es la fracción del agua infiltrada que logra atravesar la zona radical, la cual el SWAT considera entre 0 y 2 metros. Esta agua de percolación puede llegar hasta los canales de drenaje (flujo de retorno) o percolarse hasta los acuíferos profundos a más de 25 metros (Arnold *et al*, 1999).

El componente percolación del SWAT usa una técnica de almacenamiento combinado para predecir el flujo medio de cada capa de suelo. Una vez que el agua es percolada al acuífero profundo, esta no puede alimentar el escurrimiento (Arnold *et al*, 1999).

$$SW_i = SW_{oi} \exp \left(- \frac{\Delta t}{TTi} \right)$$

$$TTi = (SW_i - FCi)/Hi$$

Donde **SW_o** y **SW** son los componentes del agua del suelo en el comienzo y final del día en mm, **Δt** es el intervalo de tiempo en 24 horas, y **TT_i** es el tiempo de viaje a través de la capa del suelo *i* en h, **Hi** es la conductividad hidráulica mm/h, **FC_i** es el contenido de agua a capacidad de campo para cada capa en mm. Así, la percolación puede ser calculada por sustitución de **SW** desde **SW_o** (Arnold *et al*, 1999).

$$O_i = SW_{oi} \left[1 - \exp \left(-\frac{\Delta t}{TT_i} \right) \right]$$

Donde **O_i** es la tasa de percolación en mm/d (Arnold *et al*, 1999).

2.27. Flujo de retorno

Es el agua que llega hasta el cauce de los canales naturales desde las aguas subterráneas, este flujo es el que mantiene agua en los ríos y quebradas en las épocas de baja precipitación (Arnold *et al*, 1999).

$$q_i = q_{i-1} e^{-\alpha \Delta t} + Rc (1.0 - e^{-\alpha \Delta t})$$

Donde **q** es el flujo de retorno en el día **i**, **α** es la constante de proporcionalidad, **Rc** es la recarga del acuífero superficial. Esta ecuación está sustentada en que la variación del flujo de retorno con el tiempo está también relacionada linealmente con la recarga del acuífero (Arnold *et al*, 1999).

2.28. Medición de caudal

La medición del caudal de un río se denomina aforo. Para registrar los caudales de un río lo que se hace es instalar en una sección del río o quebrada una estación de aforo que debe estar implementada con un limnómetro o limnógrafo que son aparatos que miden el nivel del agua en el río. El limnómetro es una mira graduada que mide la altura o nivel del agua alcanzada por el flujo en una sección (Vásquez, 2000).

Una forma de medir el caudal de una quebrada es haciendo uso del método del flotador, que consiste en medir el tiempo que recorre un objeto flotante una determinada área (Vásquez, 2000).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Material y equipo de escritorio

- Papel bond A4
- Tablero tamaño A4
- Lápices
- Lapiceros
- Libreta de campo

3.1.2. Material y equipo informático

- Computadora Pentium IV – 40 Gb Memoria
- Impresora HP Business Inkjet 2800
- Tinta para impresora HP C4844A – negro
- Tinta para impresora HP C4836A, C4837A, C4838A – a color
- CD – ROM regrabable

3.1.3. Material, reactivo y equipo de laboratorio

- Reactivos para la determinación de nitrato: Nitra Ver 5, reactivo para nitrato.
- Reactivos para la determinación de dureza: álcali, solución para prueba de calcio y magnesio, indicador para calcio y magnesio, solución EDTA 1 M y solución EGTA.
- Reactivos para la determinación de sulfatos: Sulfa Ver 4 y solución estándar de sulfato 1000 mg/l.
- Reactivos para la determinación cloruros: Solución de ión férrico y tiocinato mercurico en solución
- Ampollas m-ENDO para coliformes totales.
- Ampollas m-FC para coliformes termotolerantes o fecales.
- Potenciómetro (pHmetro) Marca HACH.
- Multiparámetro Marca HACH.
- Termómetro de mercurio 100°C, Marca BOECO.
- Contabilizador de colonias.

- Incubadora para coliformes.
- Bomba de vacío Marca EMERSON.
- Pipetas de 10 y 1 ml.
- Colorímetro digital Portátil, Marca HACH.
- Turbidímetro digital Portátil, Marca HACH.
- Placas petri descartables.
- Almohadilla para placas petri.
- Pinza punta plana

3.1.4. Material para la toma de muestra

- Botella de vidrio de 200 ml
- Botella de plástico de 1 litro

3.1.5. Material y equipo para la medición de caudal

- Wincha de 30 metros marca Stanley.
- Flotador de tecnopor 7 x 3 cm.
- Mira graduada de 1.5 metros.
- Cronómetro SPALDING.

3.1.6. Vestuario y otros

- Mandil.
- Mascarillas.
- Guantes quirúrgicos.
- Capota impermeable.
- Botas de jebe.
- Cámara digital: CANON POWER SHOT 310
32 Mega pixeles de resolución
32 Mb de memoria

3.2. Métodos

3.2.1. Determinación de la cantidad de agua en la microcuenca Almendra.

Para determinar la cantidad de agua que se produce en la microcuenca Almendra se realizaron diferentes actividades en un periodo de trece meses; los que se detallan a continuación:

a) Colocación de mira graduada y obtención de altura promedio diaria de lámina de agua.

La mira graduada fue colocada a 47 metros de la captación de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda.

La altura de la mira es de 1.5 metros, graduada cada centímetro para una mejor lectura. Las lecturas se realizaron tres veces al día; dichas lecturas sirvieron para determinar el caudal diario de la quebrada a través de una curva de calibración.

b) Realización de aforos y determinación de caudal promedio

Para la determinación del caudal promedio se utilizó el método del flotador, cuya formula es la siguiente: $Q = V_m \times A$, donde Q es el caudal en m^3/s , V es la velocidad media del agua en m/s y A es el área de la sección transversal del canal o cauce natural medido en metros cuadrados.

La $V_m = V \times f$, V es la velocidad superficial y f es un factor de corrección calculado de acuerdo al tipo de cauce que presenta la quebrada.

Cuadro N° 02: Factor de corrección para velocidad media

Tipo de canal o arroyo	Factor de corrección
Canal de concreto(profundidad del agua > 15cm)	0.8
Canal de tierra(profundidad del agua > 15cm)	0.7
Arroyo o riachuelo con profundidad > 15 cm	0.5
Arroyo o canal de tierra con profundidad < 15 cm	0.5 – 0.25

Fuente: Vásquez, 2000.

$V = e/t$, donde e es la distancia A-B en metros y t el tiempo en segundos.

c) Curva de calibración para determinación de caudal promedio diario.

Para la curva de calibración se usaron las lecturas diarias de la lámina de agua, así como los resultados de los aforos realizados. La curva potencial fue la utilizada para determinar el caudal promedio diario de la quebrada Almendra, cuya fórmula es la siguiente:

$$Q = a * H^b$$

Donde Q es el caudal en m^3/s , a y b coeficientes a determinar y H altura de mira en metros.

d) Modelamiento Hidrológico de la Microcuenca Almendra

El modelamiento hidrológico de la microcuenca Almendra consistió en la recolección y preparación de información básica, la cual posteriormente fue ingresada al software SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), el cual permite relacionar la generación de agua y sedimentos con el uso de la tierra, pendientes y condiciones edáficas.

Para eso, el SWAT dividió la microcuenca en pequeñas divisorias de agua y determinó Unidades de Respuesta

Hidrológica (URH), las cuales corresponden a unidades del territorio que presentan condiciones de suelo, clima y topografía similares y por lo tanto producen un impacto particular sobre la cantidad de agua y sedimentos. Con la información de las URH, es posible identificar las áreas que aportan más sedimentos y agua al caudal.

En general, se puede distinguir los siguientes pasos metodológicos en el modelamiento con el SWAT:

1. Recolección de información básica

La información y datos fueron proporcionados por el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), para realizar el modelamiento. A continuación se mencionan los documentos recopilados:

- **En formato .doc de MS Word**

- Uso actual de la tierra, un estudio multitemporal realizado por la Universidad de Bayreuth con el fin de calcular la tasa de deforestación en la Cuenca del Alto Mayo, utilizando imágenes de satélite Landsat de los años 1999 y 2002, que fueron clasificadas y ajustadas con verificación de campo en la zona de estudio.
- Estudio de suelos semidetallado que contiene los perfiles modales del Alto Mayo, con información de profundidad de los horizontes, textura, estructura y permeabilidad.

- **En formato .xls de MS Excel**

- Datos de precipitación, temperatura, velocidad del viento de las estaciones meteorológicas del Alto Mayo, información de marzo del año 1999 al diciembre del año 2005.

- Análisis físico-químico del estudio semidetallado de suelos del Alto Mayo con información de horizontes del suelo, granulometría, porcentaje de carbono, conductividad hidráulica saturada, porcentaje de fragmentos de roca en el perfil y densidad aparente.

- **En formato shape (.shp) de Arc View GIS 3.3**

En el cuadro N° 03 se muestra los archivos proporcionados.

Cuadro N° 03: Archivos en formato digital

ARCHIVO	TEMA	USO
Hojas	Curvas	DEM
Estacion	Estación	Visualización
R_prin	Rios principales	Visualización
R_secun	Rios secundarios	Visualización
Periurb	Urbano	Visualización
Quebrada	Quebradas	Visualización
Poblados	Poblados	Visualización
Suelos	Suelos	Grid
Uso del territorio	Classification 1999 y 2002	Grid
Vegetación	Vegetación	Visualización
Vias	Vías	Visualización

Fuente: Elaboración propia, 2006.

2. Preparación de la información para el SWAT

- **Software utilizado**

Para el modelamiento hidrológico se utilizó el software ArcView GIS 3.3 con las extensiones Geoprocessing, 3D Analyst y Spatial Analyst, así como el SWAT model.

- **Procesamiento de los datos metereológicos**

Se utilizó la información metereológica del Alto Mayo proporcionados por el Proyecto Especial Alto Mayo referidos a precipitación, temperatura máxima y mínima, temperatura punto de rocío, radiación solar y velocidad del

viento. Los datos son procesados utilizando el programa MS Excel con la función de tablas dinámicas para calcular los promedios mensuales, la desviación estándar y el coeficiente sesgado. Se editó una tabla conteniendo los datos estadísticos solicitados por el SWAT.

Las tablas elaboradas conteniendo los datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima fueron pasadas al formato dBASE IV, que es un formato de intercambio de archivos con el que trabaja el programa.

Cuadro N° 04: Estación metereológica de Moyobamba

N°	ESTACION	CATEGORIA	ALTITUD (msnm)	UTM ESTE	UTM NORTE	PROVINCIA
1	Moyobamba	CO	860	282157	9331441	Moyobamba

CO: Estación Climatológica Ordinaria

Fuente: Elaboración propia, 2006.

- **Procesamiento de datos de suelo**

Con la información del estudio de suelos se editó una tabla en el MS Excel, de acuerdo con las siguientes categorías: Nombre del Suelo, número de capas, grupo hidrológico, erodabilidad del suelo, profundidad de la capa del suelo, densidad aparente, agua aprovechable en el suelo, conductividad hidráulica saturada, porcentaje de carbón orgánico en el suelo, así como porcentajes de arcillas, limos y arenas; para luego ser registrados en la base de datos “soil data bases” del programa.

- **Geoprocesamiento de mapas de suelos, uso actual de la tierra y curvas de nivel**

Para el geoprocesamiento de los mapas se utilizó la extensión Geoprocessing del Arc View GIS 3.3, que permite cortar y unir mapas, entre otras funciones.

Suelos: Se trabajó con el mapa de suelos semidetallado del Alto Mayo, trabajado por la Oficina Nacional (ONERN) digitalizado a escala de trabajo 1:100,000

Uso de la tierra: Se trabajó con la clasificación del año 2002 del uso de la tierra del Alto Mayo en el ArcView GIS 3.3.

Curvas de nivel: Se trabajó con las hojas topográficas de la carta nacional a escala de trabajo 1: 100 000 en la proyección WGS84.

- **Rasterización de los mapas**

Para la rasterización de los mapas se utilizó la extensión Spatial Analyst del ArcView GIS 3.3; esta es la base del modelo hidrológico SWAT.

Máscara: Con base en la visualización de la red hídrica, las curvas de nivel y límite de la microcuenca en el ArcView, se definió la máscara (polígono regular o irregular en formato vectorial) que delimita el área de trabajo de la microcuenca. Por el tamaño de la microcuenca se rasterizó la máscara a tamaño de celdas de 25 metros para no perder los detalles.

Mapa de suelos y uso actual de la tierra: Se rasterizó los mapas de unidades de suelos y uso de la tierra por separado, con el tamaño de celda a 25 metros. Las tablas resultantes que poseen los atributos (nombres, códigos, áreas) de los mapas se exportan a formato dBASE IV para ser editados. Esta edición permite que el programa pueda vincular la tabla anteriormente mencionada con el mapa en formato grid (raster).

Modelo Digital de Elevación – MDE (Digital Elevation Model-DEM): Para elaborar el MDE se utilizó las curvas de

nivel y la extensión 3D Analyst del ArcView. El proceso principal de elaboración es mediante la construcción de una red irregular de triángulos llamados abreviadamente TIN (*Triangulated Irregular Network*) el cual es convertido a formato raster con celdas de 25 metros.

3. Ingreso de la información al programa SWAT

Una vez preparada la información, se alimentó la base de datos del programa SWAT: Base de datos de suelos (User Soils), base de datos de clima (User Weather Stations) y base de datos de uso y crecimiento de plantas (Land Cover / Plant Growth).

4. Elaboración del modelo

Con base en la información de clima, suelo, topografía, vegetación y manejo de la tierra ingresada al SWAT, el programa modela directamente los procesos físicos asociados con el movimiento del agua y de sedimentos, el crecimiento de las plantas entre otros. Las características hidrológicas (caudales, sedimentos, evapotranspiración, escorrentía, flujo lateral) son relacionadas con el tipo de cobertura y condiciones edáficas en la microcuenca; es decir, el SWAT analiza la relación entre el uso de la tierra y el agua.

3.2.2. Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra.

Para determinar la precipitación caída en la microcuenca Almendra se colocó un pluviómetro en la caseta de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda. y se tomaron lecturas tres veces al día por trece meses por un periodo de trece meses.

Las coordenadas de ubicación del pluviómetro son:

X = 280146

Y = 9329436

Altura = 927 msnm

3.2.3. Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra

Para determinar la calidad del agua de la quebrada Almendra, se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos por un periodo de trece meses.

La toma de muestras se realizó de la siguiente forma:

- Se localizó el punto de muestreo aproximadamente a 10 metros aguas arriba de la mira, con las siguientes coordenadas:
X = 279888
Y = 9329154
- La toma de muestra se realizó en dirección opuesta al flujo; los envases se enjuagan con el agua que se va a recoger, teniendo en cuenta que para los análisis fisicoquímicos el llenado de los envases es completo y para los análisis bacteriológicos se deja un espacio de aireación y mezcla.
- Se colocó en cada envase una etiqueta en la que se especifica el número de muestra, origen, fecha y hora.
- La muestra colectada fue llevada al laboratorio para la realización de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos respectivos.

a) Determinación de la cantidad de coliformes totales y termotolerantes o fecales por la técnica de filtro de membrana

Consiste en hacer pasar una cantidad determinada de agua a través de una membrana especial, en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos, la membrana es posteriormente colocada en una placa petri en la que se ha depositado un medio de cultivo adecuado (M-Endo o M-FC) y sometida a continuación a incubación a 35 – 37°C para coliformes totales y a 44 – 45°C para coliformes fecales durante 20 horas. Al cabo

de este periodo se observan las colonias aparecidas (EMAPA, 1998).⁶

El fundamento del método consiste en filtrar el agua a través de una membrana de acetato de celulosa de 0.45mm de poro, para que retenga los microorganismos (EMAPA, 1998).

Para la filtración se requiere un equipo especial para el soporte de la membrana durante la filtración y un sistema vacío para la succión del agua (EMAPA, 1998).

Para determinar la carga bacteriana se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Coliformes contados/100ml} = \frac{\text{Nº colonias coliformes contadas}}{\text{Vol. Muestra original filtrado}} \times 100$$

b) Realización de análisis fisicoquímicos

Esta técnica consiste en añadir reactivos específicos a las muestras de agua para los parámetros a evaluar. En el anexo N° 03, se muestra la técnica utilizada por el departamento de control de calidad de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda.

3.2.4. Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra

Se ubicaron 5 unidades muestrales, las que permitieron caracterizar la vegetación según su diámetro desde 5 cm; la regeneración natural fue evaluada en subparcelas de 2 m x 2 m para brinzales y subparcelas de 5 m x 5 m para arbustivos y las parcelas con radio de 10 m (314 m²) se evaluaron los árboles mayores. Esta evaluación se realizó durante una semana.

⁶ Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de cantidad de agua en la microcuenca Almendra.

a) Colocación de mira graduada y obtención de altura diaria de lámina de agua.

En el anexo N° 01 (Lámina N° 01) se muestra las coordenadas de ubicación de la mira con respecto a la captación de agua de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda.

En el anexo N° 02, se muestra las lecturas diarias de la altura de la lámina de agua de la quebrada Almendra.

b) Realización de aforos y determinación de caudal promedio

En el cuadro N° 05, se muestran los aforos realizados en la quebrada Almendra para determinar la curva de calibración de caudales.

Los aforos realizados muestran que el caudal se eleva en épocas de lluvia, pudiendo llegar hasta 50 l/s.

Cuadro N° 05: Caudal de la quebrada Almendra

N°	FECHA	VELOCIDAD		CAUDAL (m3/s)
		MEDIA	ÁREA	
1	30/11/2004	0.23	0.215	0.050
2	02/12/2004	0.10	0.132	0.013
3	06/12/2004	0.10	0.156	0.016
4	28/12/2004	0.15	0.180	0.027
5	14/01/2005	0.09	0.120	0.010
6	11/02/2005	0.17	0.174	0.028
7	15/02/2005	0.19	0.163	0.030

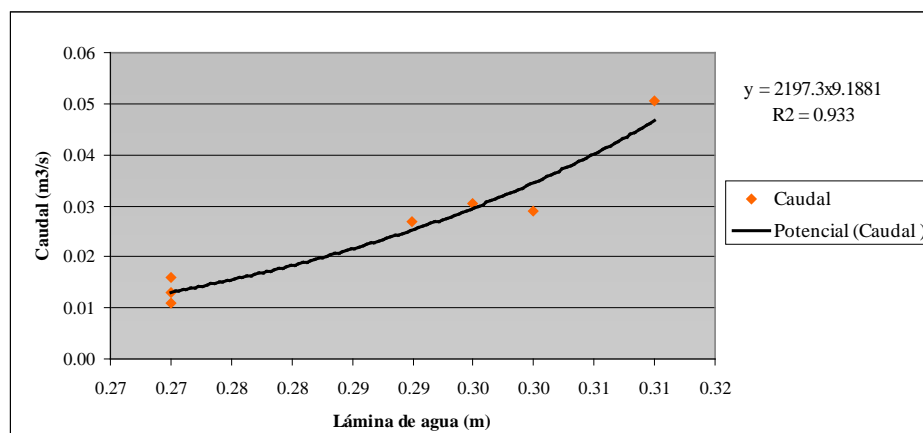
Fuente: Elaboración propia, 2005.

La curva de calibración utilizada para calcular los caudales promedios diarios fue la potencial, que tiene una correlación de 90%.

$$y = 2197.3x^{0.1881}$$

$$R^2 = 0.933$$

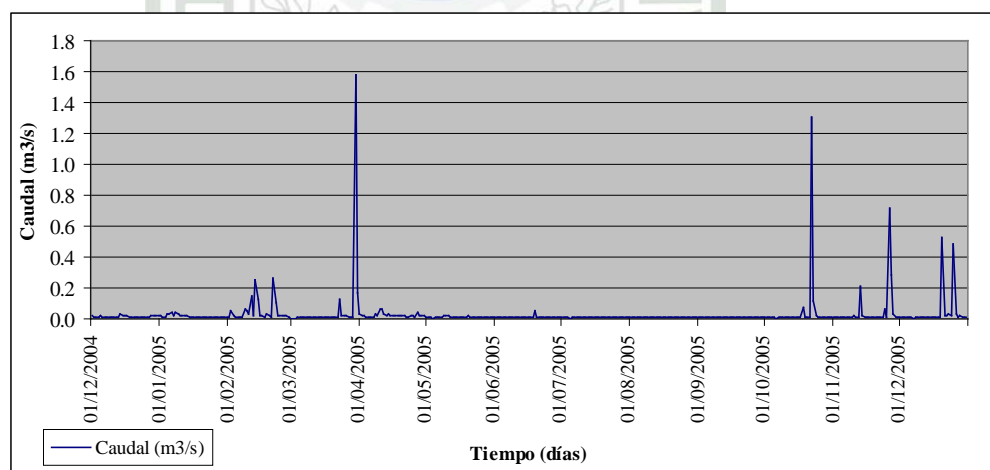
Gráfico N° 01: Curva de calibración de caudales



Fuente: Elaboración propia, 2006

Esta curva permitió calcular el caudal promedio diario de la quebrada Almendra, los que se muestran en el siguiente gráfico:

Gráfico N° 02: Caudales promedio diarios de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

c) Modelamiento Hidrológico de la microcuenca Almendra

Las principales coberturas utilizadas en el SWAT fueron el bosque primario, vegetación secundaria y purma o pasto. En el cuadro N° 06, se muestran los usos, su abreviatura y la cantidad de hectáreas en la microcuenca.

Cuadro N° 06: Uso de la tierra en la microcuenca Almendra

Código	Usos de la Tierra	Hectáreas
FRST	Bosque Primario	47.70
APPL	Vegetación Secundaria	114.60
PAST	Purma o pasto	16.40
AGRL	Suelo desnudo o quemado	0.90
Total		179.60

Fuente: Elaboración propia, 2006

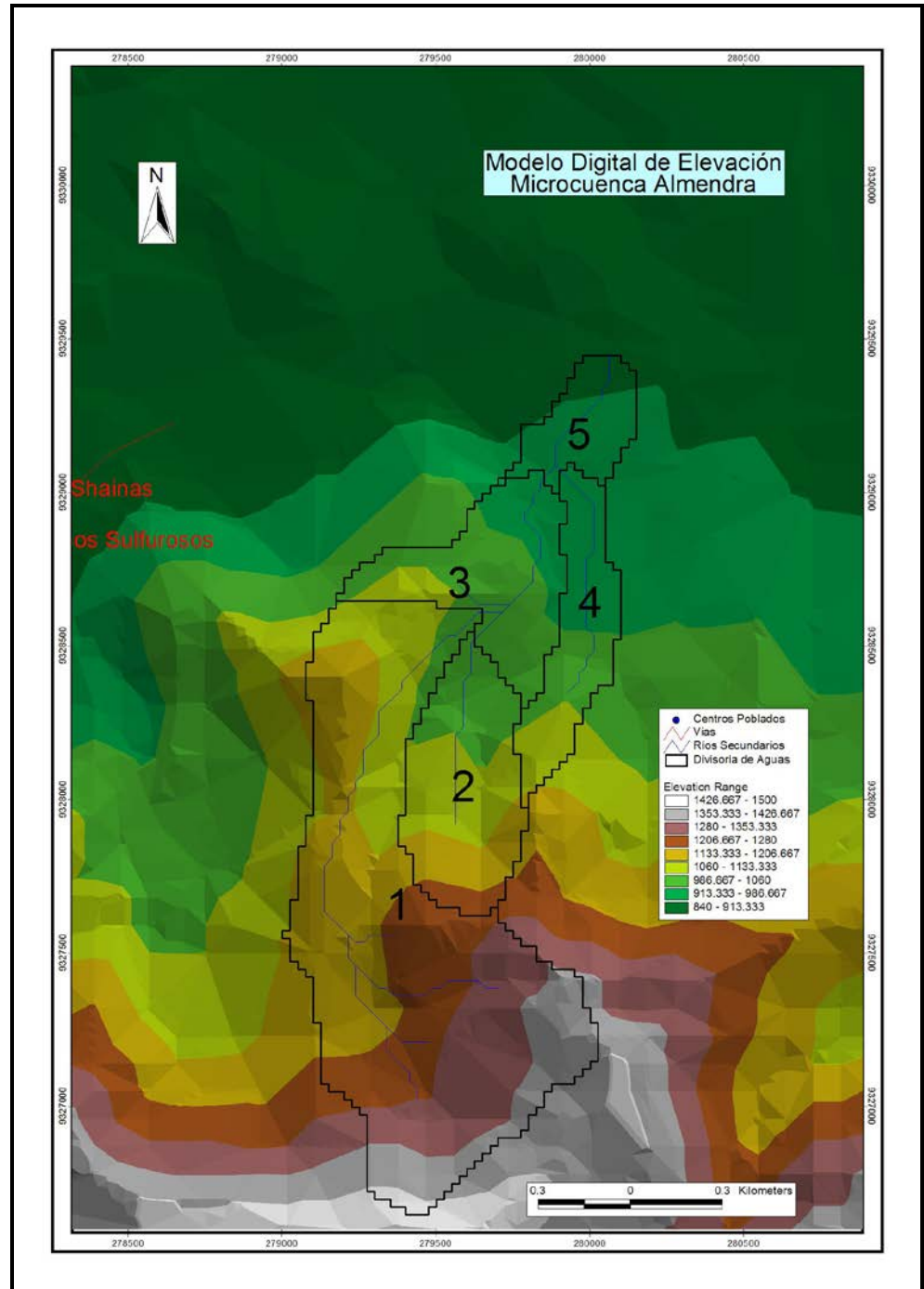
En esta microcuenca se encontró abundante vegetación secundaria (APPL) con 63.81%, bosque primario (FRST) en un 26.56%, pasto o purma (PAST) 9.13% y suelo descubierto (AGRL) en un 0.50%.

La vegetación secundaria está constituida por bosques en transición o cultivos de café bajo sombra. Con respecto al bosque primario esta distribuido en la parte media y baja de la microcuenca. Esta distribución se observa en el anexo N° 01 (Lámina N° 02).

En el anexo N° 01 (Lámina N° 03), se muestran los tipos de suelos presentes en la microcuenca Almendra; estos suelos presentan en su composición un porcentaje elevado de arena, siendo el más arenoso el suelo Nipón que presenta un 80%. Otra de las características más importantes que presentan son la densidad aparente que varía entre 1.35 - 1.51 gr/cm³ y la erodabilidad que se encuentra entre 0.48 - 0.66. Estos últimos son valores elevados para los suelos que presenta la microcuenca.

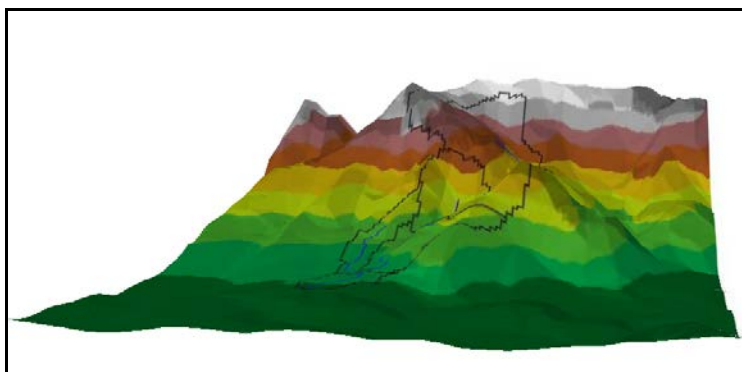
En las figuras N° 01 y 02 se muestra el modelo digital de elevación de la microcuenca Almendra, con la divisoria de aguas y la quebrada. Además, se puede apreciar una vista tridimensional de la microcuenca, la que se elaboró con el programa análisis en 3D del ArcView.

Figura N° 01: Modelo Digital de Elevación de la Microcuenca Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

Figura N° 02: Relieve de la microcuenca Almendra



El SWAT integró las capas de suelo, uso, las estaciones climáticas y el modelo de elevación digital, los que dieron como resultado 23 unidades de respuesta hidrológica (URH), las que se muestran en el cuadro N° 07 y su distribución en la microcuenca en el anexo N° 01 (Lámina N° 04).

Cuadro N° 07: Unidades de respuesta hidrológica en la microcuenca Almendra

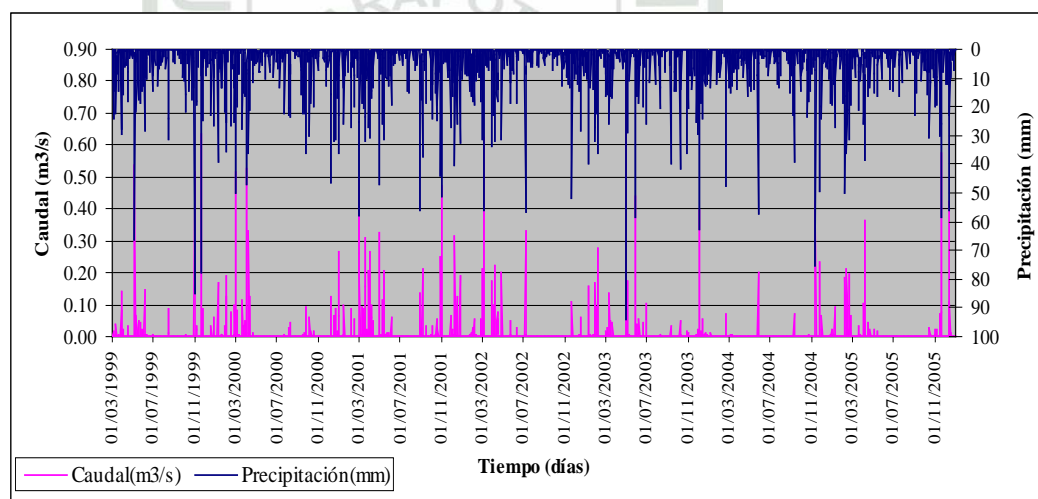
DIVISORIA	URH	USO DE SUELO	CODIGO	SUELO	Área (ha)
1	1	Pasto o purma	PAST	RUMIYACUBETANIA	4.80
	2	Vegetación secundaria	APPL	RUMIYACUBETANIA	9.90
	3	Bosque primario	FRST	RUMIYACUBETANIA	11.40
2	4	Pasto o purma	PAST	NIPON	3.20
	5	Pasto o purma	PAST	RUMIYACUBETANIA	2.50
	6	Vegetación secundaria	APPL	NIPON	1.90
	7	Vegetación secundaria	APPL	RUMIYACUBETANIA	75.80
	8	Bosque primario	FRST	RUMIYACUBETANIA	18.70
3	9	Vegetación secundaria	APPL	NIPON	11.80
	10	Vegetación secundaria	APPL	RUMIYACUBETANIA	5.20
	11	Bosque primario	FRST	NIPON	5.50
	12	Bosque primario	FRST	RUMIYACUBETANIA	4.00
4	13	Pasto o purma	PAST	NIPON	1.10
	14	Pasto o purma	PAST	RUMIYACUBETANIA	0.90
	15	Vegetación secundaria	APPL	MOYOBAMBA	0.10
	16	Vegetación secundaria	APPL	NIPON	4.40
	17	Vegetación secundaria	APPL	RUMIYACUBETANIA	1.40
	18	Bosque primario	FRST	NIPON	2.20
	19	Bosque primario	FRST	RUMIYACUBETANIA	5.90
5	20	Pasto o purma	PAST	MOYOBAMBA	3.90
	21	Vegetación secundaria	APPL	MOYOBAMBA	3.10
	22	Vegetación secundaria	APPL	NIPON	1.00
	23	Suelo desnudo	AGRL	MOYOBAMBA	0.90

Fuente: Elaboración propia, 2006.

En el cuadro N° 07 y en el anexo N° 01 (Lámina N° 04) se identifica que la unidad de respuesta hidrológica más grande es la siete con un área de 75.80 hectáreas y que predomina la vegetación secundaria y suelo Rumiyaqu – Betania.

En el gráfico N° 03 se muestra la precipitación y el caudal de la microcuenca Almendra para los siete años simulados, obteniendo el siguiente resultado.

Gráfico N° 03: Comparación de precipitación y caudal simulado en la microcuenca Almendra (1999 – 2005)



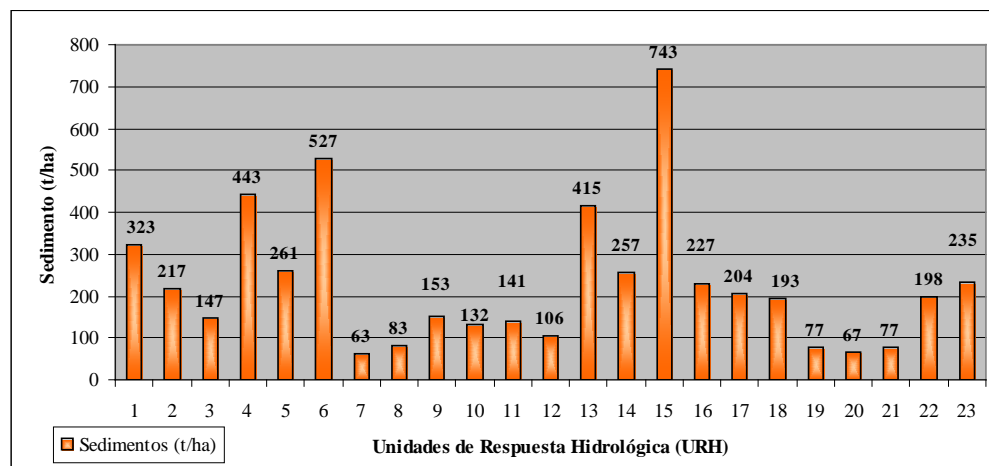
Fuente: Elaboración propia, 2006.

El gráfico muestra la sincronía que existe entre la precipitación y el caudal de la quebrada, pudiendo notarse cuando las precipitaciones sobrepasan los 20 mm.

Es importante resaltar que a pesar de existir lluvias constantes el caudal simulado no se incrementa manteniéndose aproximadamente en $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$; son pocos los picos de caudal mayores a $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

El aporte de sedimentos al caudal por cada unidad de respuesta hidrológica se muestra en el gráfico N° 04, siendo la URH N° 15 la que más sedimento aporta al caudal., cuya cobertura es vegetación secundaria y suelo Moyobamba.

Gráfico N° 04: Aporte de sedimentos en toneladas/hectárea por cada unidad de respuesta hidrológica



Fuente: Elaboración propia, 2006.

El SWAT calcula la producción de agua por divisoria, la que se muestra en la lámina N° 05 del anexo N° 01, en las cuales intervienen diferentes factores como el clima, el suelo, el uso del suelo, la evapotranspiración entre otros.

La producción de agua por divisoria arrojada por el SWAT se ve en el cuadro N° 08, así como un cálculo de la producción por hectárea.

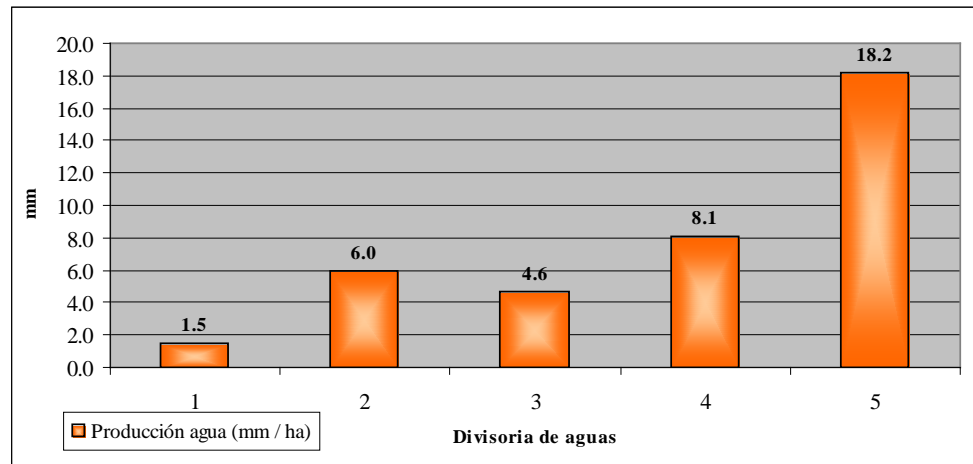
Cuadro N° 08: Producción de agua en la microcuenca Almendra

Divisoria agua	Área (ha)	Producción agua (mm / Divisoria)	Producción agua (mm / ha)
1	26.1	155.6	1.5
2	102.1	156.1	6.0
3	26.5	122.6	4.6
4	16	128.9	8.1
5	8.9	161.6	18.2
Total	179.6	724.8	

Fuente: Elaboración propia, 2006.

La producción de agua para toda la microcuenca (179.6 hectáreas) es 724.8 mm. Esta producción varía entre 122.6 mm y 161.6 mm y resaltando la divisoria N° 05, como la que más agua produce en la microcuenca. Cabe mencionar que la cobertura predominante en las divisorias es el bosque primario y la vegetación secundaria.

Gráfico N° 05: Producción de agua por divisoria de agua en la microcuenca Almendra.

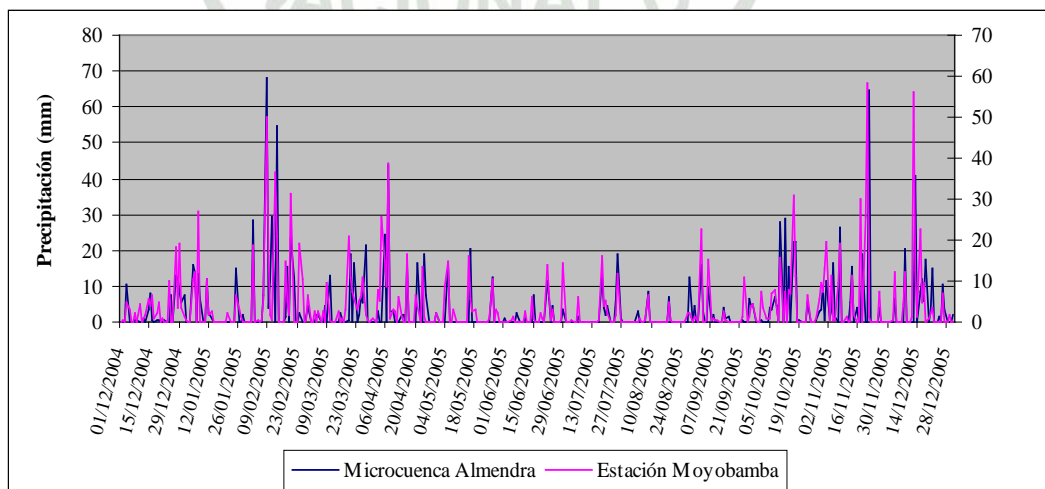


Fuente: Elaboración propia, 2006.

4.2. Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra

En la ficha N° 02 del anexo N° 02 y gráfico N° 06, se muestra la frecuencia de la precipitación caída en la microcuenca Almendra comparándolo con la registrada en la estación de Moyobamba:

Gráfico N° 06: Relación entre la precipitación registrada por los pluviómetros de la estación de Moyobamba y la microcuenca Almendra.



Fuente: Elaboración propia, 2006.

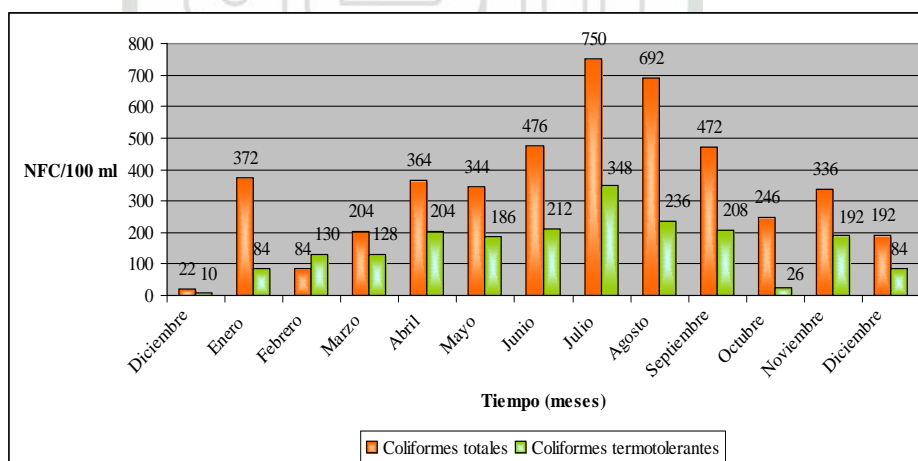
Se puede notar que existe precipitación que sobrepasa los 60.0 mm; siendo los meses de febrero, abril, noviembre y diciembre los más lluviosos.

4.3. Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra.

a) Determinación de coliformes totales y termotolerantes o fecales por la técnica de filtro de membrana

En la ficha N° 03 del anexo N° 02 y en el siguiente gráfico se muestra la diferencia entre la cantidad de coliformes totales y termotolerantes existentes en la quebrada Almendra:

Gráfico N° 07: Cantidad de coliformes totales y termotolerantes mensuales en la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006

El gráfico muestra que en los meses de julio y agosto se presenta la mayor concentración de coliformes totales (750 y 692 NFC/100 ml). Este aumento o disminución está relacionado a las actividades que realizan las personas asentadas en la microcuenca, dentro de las cuales está la remoción del suelo, la tala, rose y quema del bosque para sembrar. En general, los coliformes totales se encuentran en el suelo y el aire.

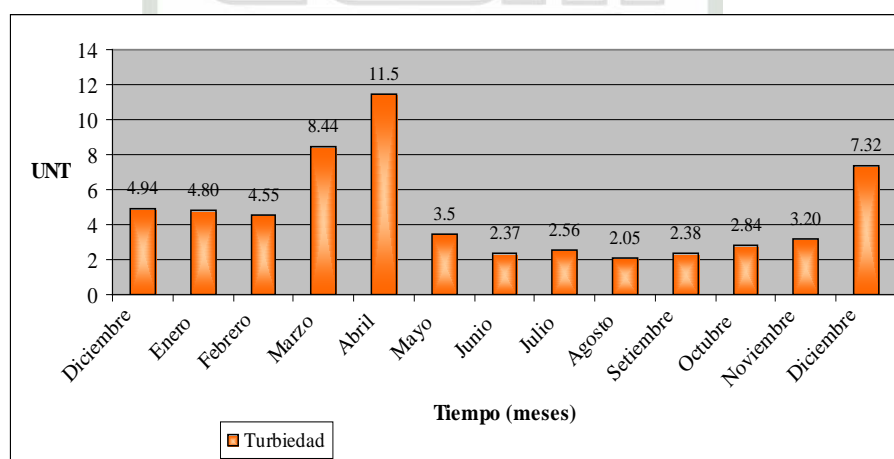
La presencia de coliformes tiene un incremento en los meses de junio a setiembre, que son considerados los meses de campaña de café, en los cuales la cantidad de personas y animales (bestias de carga) que transitan por la microcuenca aumentan y los desechos orgánicos (heces) son arrastrados a la quebrada.

b) Realización de análisis fisicoquímicos.

Estos análisis se realizaron para determinar si existe contaminación producida por sustancias químicas o deterioro organoléptico del agua.

Los análisis realizados muestran estos parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles dados por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y la Organización Mundial de la Salud, estos resultados se muestran en la ficha N° 04 del anexo N° 02 y en los siguientes gráficos:

Gráfico N° 08: Turbiedad mensual de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

Se puede notar que la turbiedad encontrada es baja, generalmente se encuentra en 2 UNT, lo que nos indica que la mayoría del tiempo este no sobrepasa los límites máximos permisibles. En los meses de diciembre a abril, la turbiedad se incrementa por ser estos meses los más lluviosos del año.

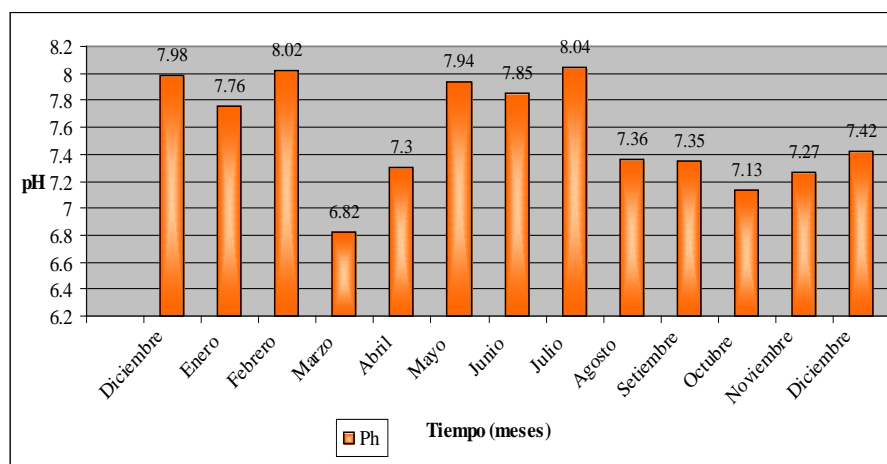
Haciendo una comparación de los resultados encontrados en las muestras tomadas del agua suministrada, la turbiedad es baja. En el cuadro N° 09, se muestra la comparación de resultados encontrados en el agua de la quebrada Almendra y la suministrada.

Cuadro N° 09: Comparación de resultados del agua de la quebrada Almendra y la suministrada

Toma de muestra	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Quebrada Almendra	4.94	4.80	4.55	8.44	15.5	3.5	2.37	2.56	2.05	2.38	2.84	3.20	7.32
Agua suministrada	3.62	3.18	3.66	5.20	6.02	2.30	1.40	1.76	1.88	2.00	2.05	2.99	5.34

Fuente: Elaboración propia, 2006.

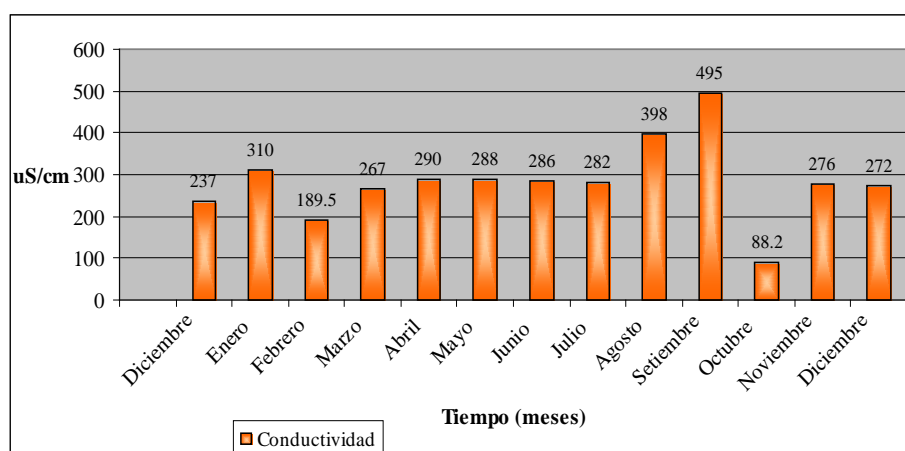
Gráfico N° 09: pH mensual de la microcuenca Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

El 100% de las muestras analizadas presentan valores de pH que no sobrepasan los límites máximos permisibles, evidenciando la capacidad de amortiguación natural que presenta el agua de la quebrada Almendra.

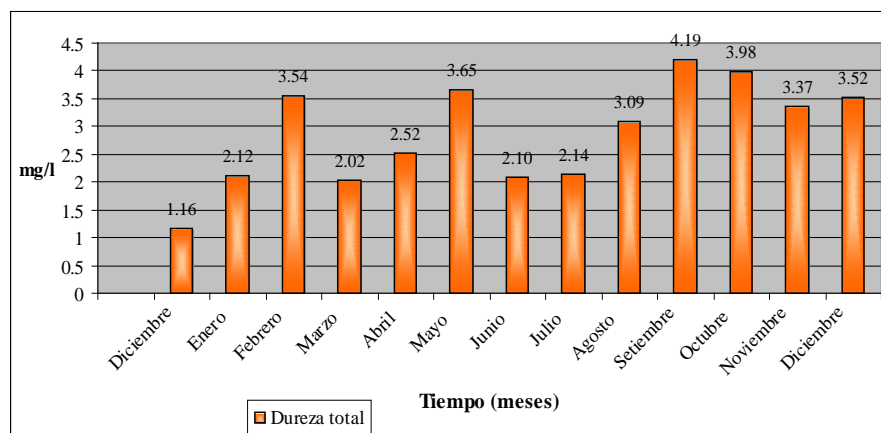
Gráfico N° 10: Conductividad eléctrica mensual de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

La conductividad eléctrica mensual de la quebrada Almendra se encuentra por debajo del límite máximo permisible. Estos valores nos indican que existe moderada conducción de sales disueltas, sin llegar a la salinidad.

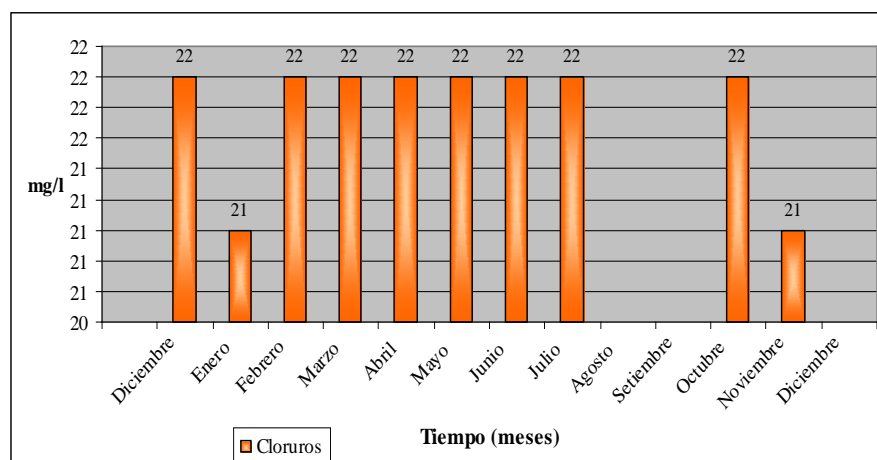
Gráfico N° 11: Dureza mensual de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

La dureza del agua se mantiene aproximadamente en 2.88 mg/l, lo que nos indica que el agua es blanda, ya que se encuentra en el rango de 0 – 60 mg/l. Este parámetro fisicoquímico nos indica que no existe mineralización en la quebrada y por lo tanto no afecta el sistema de distribución hasta las viviendas.

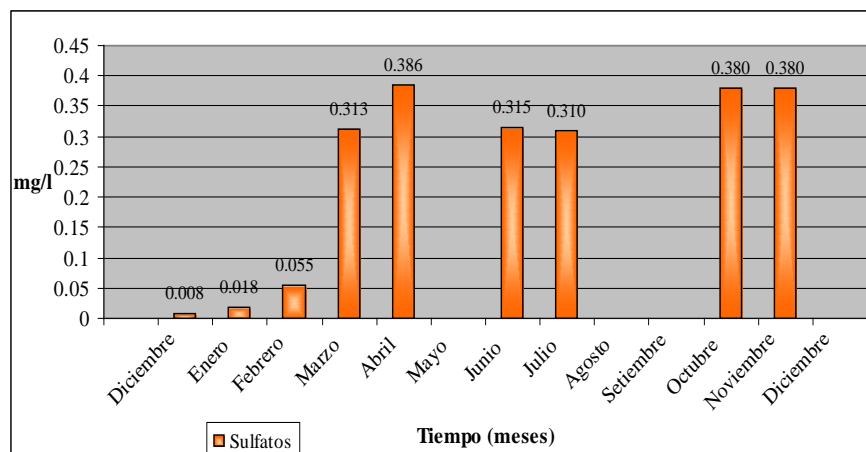
Gráfico N° 12: Cloruros mensuales de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

El cloruro presente en el agua se mantiene en 22 mg/l, un valor por debajo del límite máximo permisible. Es decir, que no existe probabilidad de corrosidad en los sistemas de distribución, porque la presencia de sales es mínima.

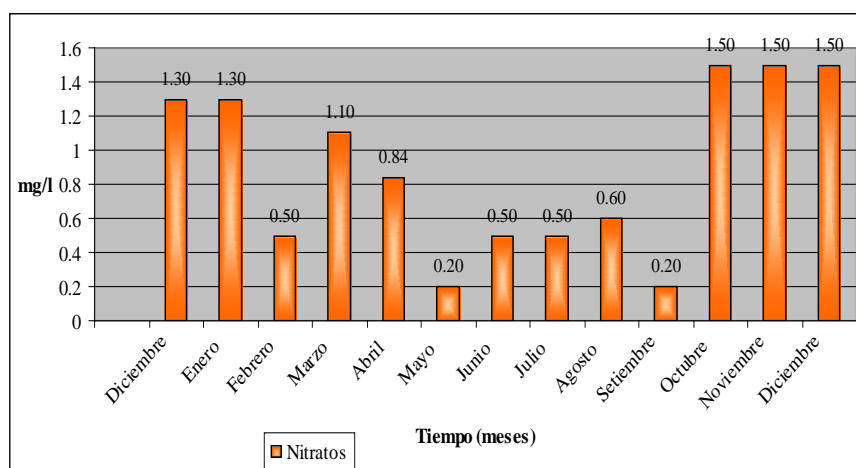
Gráfico N° 13: Sulfatos mensuales de la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

La cantidad de sulfatos presentes en el agua es mínima, el valor máximo encontrado es de 0.386 mg/l, muy por debajo del límite máximo permisible. La presencia de sulfatos se manifiesta por la existencia de afloramientos de azufre cerca de la quebrada, ya que la microcuenca conlinda con los baños sulfurosos.

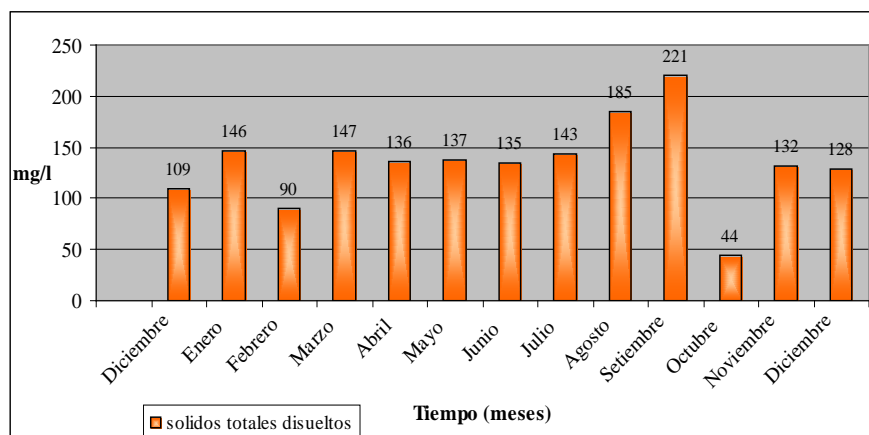
Gráfico N° 14: Nitratos mensuales en la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006.

El valor máximo de concentración de nitratos es de 1.50 mg/l, lo cual indica que la contaminación es mínima. Estos valores aumentan o disminuyen por la época de siembra y cosecha de café, meses en los cuales el movimiento de personas por la microcuenca se incrementa y por lo tanto la contaminación.

Gráfico N° 15: Sólidos totales disueltos mensuales en la quebrada Almendra



Fuente: Elaboración propia, 2006

El valor promedio de sólidos totales disueltos es de 134.85 mg/l, lo que indica que la presencia de materia orgánica en el agua es relativamente baja. El aumento o disminución de los sólidos totales disueltos está asociada directamente a los parámetros de la conductividad eléctrica.

4.4. Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra.

Para obtener los siguientes resultados se multiplicaron el total de especies contadas en cada parcela y subparcela por el total del área de la microcuenca Almendra.

Cuadro N° 10: Reconocimiento de la cobertura vegetal de la microcuenca Almendra

Características evaluadas	Bosque primario intervenido	Bosque en transición	Bosque secundario
N° de árboles por hectárea	1 417	1 321	1 894
Estructura	• Huacapú	• Calceta	• Moena

• Caraña	(<i>Miconia sp</i>)	(<i>Ocotea pallida</i>)
• Cashamoena	• Huacapú	• Ortiga
• Almendra	• Shimbillo	• Paltomoena
(<i>Caryocar sp</i>)	(<i>Inga sp</i>)	• Leche caspi
• Huriamba	• Almendra	(<i>Brosimun utile</i>)
	(<i>Caryocar sp</i>)	• Renaco
		(<i>Ficus sp</i>)

Regeneración

natural

(sp/ha)

128 067

88 422

81 445

Fuente: Elaboración propia, 2006.

Estos resultados muestran que el bosque existente en la microcuenca almendra tiene dentro de su estructura general bosque primario intervenido, bosque en transición y bosque secundario, además, existe presencia de pastos y agroforestería, representada por la siembra de café bajo sombra.

Haciendo una relación con el cuadro N° 06, la presencia de bosque primario y bosque o vegetación secundaria son las coberturas vegetales más abundantes.

V. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Determinación de cantidad de agua en la microcuenca Almendra

- La colocación de la mira graduada y la realización de aforos por el método del flotador, fueron muy importantes para determinar el caudal de la quebrada Almendra, por ser esta la que se adecua a las características de la quebrada en estudio; estos métodos son recomendados por **Vásquez (2000)** quien dice que, para registrar los caudales de una quebrada es necesario instalar un limnómetro (mira graduada) para medir la altura o nivel del agua alcanzada por el flujo en esta sección y que el método del flotador es recomendado para caudales pequeños que varían entre 0.1 litros/segundo a 300 litros/segundo.
- Los aforos realizados sirvieron para elaborar una curva de calibración de caudales, utilizando la ecuación potencial que relaciona la altura de la mira graduada y el caudal encontrado. Esta curva permitió calcular el caudal promedio diario de la quebrada Almendra en época de lluvia y estiaje. El método también es recomendado por **Vásquez (2000)** mencionando que la curva de calibración de caudales en una determinada sección resulta de relacionar el nivel del agua con el caudal aforado y se expresa con la ecuación: $Q = aH^b$, donde Q es el caudal en m³/s, H el nivel de agua (m) y a,b constantes para la sección. Asimismo dice que para obtener el caudal en una sección del río que tiene limnómetro, se ingresa la curva de calibración con el valor de la altura de agua y se obtiene el caudal correspondiente.
- El caudal de **28 litros/segundo**, calculado en el presente estudio, se ajusta al caudal registrado por la **EPS Moyobamba (2000)** en el “*Diagnóstico de la situación operacional de los sistemas de agua potable y alcantarillado*”, en el cual dan a conocer que la capacidad de la quebrada es de **28 litros/segundo** y el mínimo en época de estiaje es de **13 litros/segundo**.
- **Arnold et al (1999)**, menciona que el SWAT es una herramienta que permite simular los caudales de una cuenca a partir de registros históricos tanto de precipitación y temperaturas máximas y mínimas Es decir, la

relación existente entre el caudal real y el simulado por el SWAT, permite mencionar que el programa es bastante práctico para simular los caudales pasados de una quebrada como es el caso o de fuentes mucho mas grandes y determinar la cantidad de agua que se produce.

- Los sedimentos aportados al caudal por cada unidad de respuesta hidrológica generada por el SWAT, se dan por el tipo de suelo existente y la cobertura que presentan la microcuenca, lo que facilita el escurrimiento a causa de las lluvias. La utilización de este programa facilita la ubicación de puntos críticos que aportan una gran cantidad de sedimentos y donde se deben realizar cambios de uso de la tierra. **Arnold *et al* (1999)** dice que el SWAT es un modelo que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua. Asimismo **Caro (2003)** menciona que es un programa que trabaja en tiempo continuo y que opera a nivel diario realizando un balance hídrico de la cuenca.

5.2. Determinación de la precipitación caída en la microcuenca Almendra

- Haciendo una comparación de los datos de precipitación registrado con el pluviómetro colocado en la microcuenca Almendra y los datos de precipitación de la estación meteorológica ordinaria Moyobamba administrada por el Proyecto Especial Alto Mayo, se observó una gran similitud, lo que permite afirmar que la lectura del pluviómetro colocado en la microcuenca Almendra es confiable para ser utilizada en diferentes trabajos de investigación.

5.3. Determinación de la calidad del agua de la quebrada Almendra

- El agua cuando entra en contacto con el aire, el suelo o incluso el propio hombre, adquiere impurezas y modifica su composición, lo que puede producir enfermedades y perjuicios para el ser humano según menciona el **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002)**, es por ello que se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos recomendados por la Superintendencia Nacional de

Servicios de Saneamiento para determinar la calidad del agua para consumo humano.

a) Análisis bacteriológicos

Roque (2004) menciona, la contaminación del agua es un riesgo latente para la salud de millones de habitantes en el mundo, por sus implicaciones sociales, económicas y políticas, el agua es de los elementos más frágiles para la implementación de un desarrollo sustentable. Las enfermedades diarreicas continúan siendo un problema grave en la población infantil. Estos padecimientos son causados por bacterias, virus y protozoarios patógenos que se dispersan a través de la ruta fecal-oral y que potencialmente pueden ser transmitidos por el consumo de agua que se utiliza para diversas actividades en el hogar, incluyendo la higiene personal y a través del contacto primario con aguas recreativas que se encuentran contaminadas. Asimismo **Espigares (2001)**, el agua debe reunir unas determinadas características de calidad para que no comporte riesgos para la salud. Su control y vigilancia debe realizarse continuamente y en todas las fases del saneamiento, por lo que es necesario definir parámetros para la calidad del agua.

Estas afirmaciones se ven reflejadas en la cantidad de coliformes tanto fecales como totales encontradas en los análisis realizados al agua de la quebrada, sobrepasan los 750 NFC/100 ml (coliformes totales) y 348 NFC/100 ml (coliformes fecales) indicando que no es recomendable beberla sin previo tratamiento. Esta contaminación es causada por las actividades que realizan las personas asentadas en la microcuenca dentro de las cuales tenemos la agrícola y la doméstica, así como la presencia de animales domésticos y silvestres.

Si bien el organismo competente en este caso la SUNASS, no determina exactamente la cantidad de coliformes para las agua superficiales, lo que nos indica que el agua de la quebrada Almendra, puede contener una gran cantidad de coliformes, pero a los hogares debe llegar en óptimas

condiciones, según lo estipula la Directiva N° 1121-99/SUNASS, sobre Límites Máximos Permisibles.

Para hacer una comparación se realizaron análisis del agua en la red de distribución, los que dieron como resultado la inexistencia de microorganismos fecales (0 ufc/100 ml) (ver anexo N° 02, ficha N° 03), indicando que el agua de la quebrada Almendra llega a los hogares en condiciones óptimas para su consumo.

b) Análisis fisicoquímicos

Turbiedad

Chung (2003), señala que la turbiedad es un parámetro importante a considerar en las aguas para abastecimiento público, ya que de sobrepasar el límite máximo permisible (5 UNT), produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en los alimentos.

En este contexto, la turbiedad encontrada muchas veces supera el límite máximo permisible dado por la SUNASS, sin embargo a las viviendas llega con baja turbiedad. Estos resultados se muestran en el anexo N° 09.

pH

La **OMS (1985)**, **SUNASS (1999)** y **García *et al* (2001)** dicen que el límite máximo permisible para el pH en las aguas naturales se encuentra en el rango 6.5 – 8.5, y depende de la geoquímica de los suelos, de las aguas de lavado y de la dinámica física y química del bióxido de carbono, ácido carbónico, carbonatos y bicarbonatos, iones que siempre están presentes en las aguas naturales. El pH de la quebrada Almendra se encuentra entre 6.82 y 8.04; valores que se encuentran entre los límites máximos permisibles dados por la **SUNASS** y la **OMS**. No se puede afirmar que tiene efectos sobre la salud, pero afecta procesos importantes como la desinfección con cloro y se liga a los fenómenos de corrosión e incrustación en redes de distribución.

Conductividad eléctrica

Maldonado (2000) dice, la conductividad eléctrica se evalúa para determinar el grado de salinidad de las agua y dependen de la concentración de sólidos totales disueltos, asimismo la **SUNASS (1999)** indica que el límite máximo permisible es 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los análisis realizados indican que los valores encontrados 88.2 y 495 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no sobrepasan límites máximos permisibles, por lo tanto el agua de la quebrada Almendra no es salina.

Dureza

Barrenechea (2000), aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud, pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado, además está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. Los valores de dureza encontrados en el agua de la quebrada Almendra determinan que el agua es blanda, ya que la concentración más baja es de 1.16 mg/l y la más alta de 4.16 mg/l, que se encuentran entre los valores de 0 a 60 mg/l para aguas blandas.

Cloruros

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas según **Barrenechea (2000)**. Asimismo, partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo. Los valores encontrados para los cloruros se encuentran entre 21 y 22 mg/l, es decir que las sales disueltas en el agua están en concentraciones muy bajas, casi imperceptibles.

Sulfatos

Según **Barrenechea (2000)**, los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en

concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido

El sulfato es prácticamente imperceptible en el agua de la quebrada Almendra, ya que los valores encontrados son menores a 0.5 mg/l, esto se debe a la existencia de pequeños afloramientos de azufre en una zona de la microcuenca.

Nitratos

Según **Chung (2003)**, los Nitratos se producen como consecuencia del lavado de los campos agrícolas, llega a las aguas superficiales por degradación natural, por la descarga de desechos industriales, domésticos, químicos (abonos) y desechos de animales. Pero tales fuentes son relativamente pequeñas comparando con los desechos de la industria de fertilizantes que es una de las principales fuentes de contaminación.

Los valores encontrados son mínimos entre 0.2 y 1.5 mg/l, lo que refleja que la utilización de fertilizantes nitrogenados en la microcuenca es mínima o nula.

Sólidos totales disueltos

La cantidad de sólidos totales disueltos en el agua promedio es menor de 134.85 mg/l, lo cual indica que la materia orgánica suspendida y disuelta en el agua está por debajo del límite máximo establecido por la **OMS (1985)** y la **SUNASS (1999)**, que recomiendan que el agua que tiene menos de 300 mg/l es excelente y que el valor guía para los sólidos totales disueltos es de 1000 mg/l.

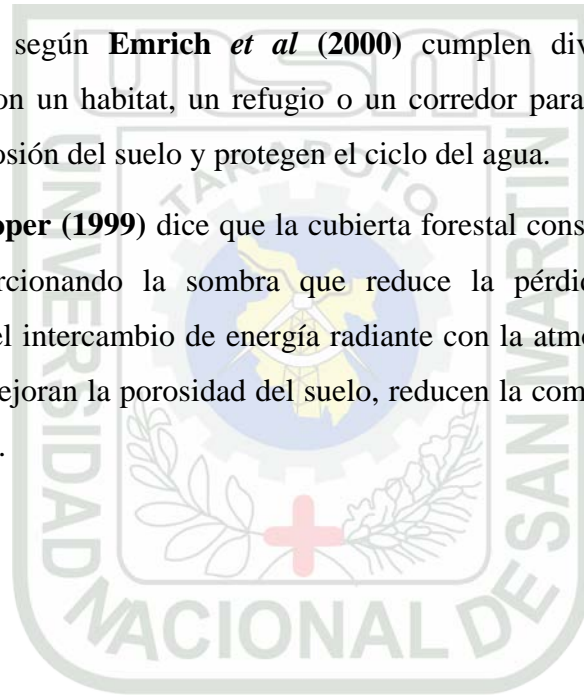
5.4. Reconocimiento del tipo de cobertura existente en la microcuenca Almendra

En la microcuenca Almendra se encontraron diferentes tipos de coberturas, dentro de las cuales los bosques son los más importantes por estar ubicado en las nacientes y riberas de la quebrada y sus afluentes, además, de retener el agua de las lluvias caídas en la microcuenca.

Marcano (2004) dice, Los bosques filtran y limpian el agua, amortiguan las lluvias fuertes que de otra manera erosionarían los suelos, y mantienen en su lugar los bancos de los ríos o quebrada. A su vez, el agua transporta nutrientes disueltos y los distribuye por todo el suelo del bosque. Los bosques actúan como "esponjas", capaces de recoger y almacenar grandes cantidades del agua de lluvia. Los suelos forestales absorben cuatro veces más agua de lluvia que los suelos cubiertos por pastos, y 18 veces más que el suelo desnudo.

Los bosques según **Emrich et al (2000)** cumplen diversas funciones de protección, son un habitat, un refugio o un corredor para animales y plantas, reducen la erosión del suelo y protegen el ciclo del agua.

Asimismo **Roper (1999)** dice que la cubierta forestal conserva la humedad del suelo, proporcionando la sombra que reduce la pérdida por evaporación causada por el intercambio de energía radiante con la atmósfera. Las raíces de los árboles mejoran la porosidad del suelo, reducen la compactación y facilitan la infiltración.



VI. CONCLUSIONES

- 6.1.** El caudal promedio anual calculado para la quebrada Almendra fue **28 l/s**. Este caudal puede satisfacer las necesidades de agua potable de la población de la ciudad de Moyobamba. Además, el SWAT constituye una herramienta indispensable para realizar planificar las acciones que deben realizarse en la microcuenca con la finalidad que el caudal se mantenga.
- 6.2.** La precipitación anual registrada en la estación Almendra es de 1436.3 mm, indicando que no existe una diferencia marcada con la precipitación registrada en la Estación Climatológica Ordinaria de la Ciudad de Moyobamba.
- 6.3.** La carga bacteriana del agua de la quebrada Almendra es elevada, sin embargo esta se elimina al llegar a las redes de distribución. Asimismo, dentro de los parámetros fisicoquímicos analizados la turbiedad muchas veces resulta elevada, pero también al llegar a la redes de distribución disminuye. Los otros parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.
- 6.4.** La estructura del bosque en la microcuenca Almendra está constituida generalmente por bosque secundario, esto debido a la presencia de personas asentadas en la microcuenca.

VII. RECOMENDACIONES

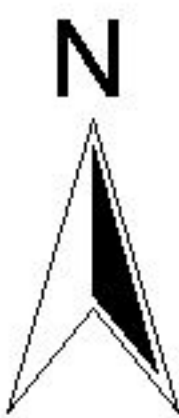
- 7.1.** Es necesario realizar más aforos para seguir ajustando la curva de calibración de caudales de la quebrada Almendra.
- 7.2.** Es apropiado seguir con las lecturas de precipitación diaria de la microcuenca Almendra en forma permanente, ya que permite ajustar la precipitación registrada en la estación de Moyobamba a las condiciones reales de la microcuenca.
- 7.3.** La EPS Moyobamba debe realizar en forma permanente los análisis bacteriológicos y fisicoquímicos para tener un control exacto de la época en la que aumenta la contaminación y las medidas correctivas que deben tomarse.
- 7.4.** Realizar un estudio más puntual referente a la cobertura vegetal de la microcuenca Almendra para determinar exactamente el aporte de agua al caudal y así poder realizar acciones para la conservación de los bosques y la disminución de la frontera agrícola.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD, Jeffrey *et al* (1999). Manual SWAT. USDA Agricultural Research Service. Texas A & M University, Texas Agricultural Experiment Station. Texas –USA.
- BARRENECHEA M, Ada (2000). Aspectos Fisicoquímicos del agua. Perú.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (2002). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Lima - Perú.
- CHUNG, B. (2002). Introducción al laboratorio análisis de agua. Lima. Perú.
- DIETZ, Johannes *et al* (2003). Estudio multitemporal para calcular la tasa de deforestación en la cuenca del Alto Mayo, Perú. GTZ-DIAM. Bayreuth – Alemania.
- EMAPA MOYOBAMBA (1998). Guía de técnicas analíticas bacteriológicas para el control de calidad. Consorcio BCEOM-OIST. Perú.
- EMRICH, Anette *et al* (2000). Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. Eschborn – Alemania.
- EPS Moyobamba (2000). Diagnóstico de la situación operacional de los sistemas de agua potable y alcantarillado. Moyobamba – Perú.
- ESPIGARES G, Miguel (2001). Higiene y Sanidad Ambiental. Universidad de Granada. España.
- GARCIA, Martha *et al* (2001). El Agua. Colombia
- GONZALO, Hebert *et al* (2004). Metodología de cálculo del índice de escasez. IDEAM. Bogotá – Colombia.
- MALDONADO, Juan (2000). Estudios definitivos de ingeniería para la rehabilitación y mejoramiento a nivel de asfaltado de las carreteras: Piura – Sullana, La Tina – Pte. Macará/Piura – Paita. Asociación BCEOM-OIST-ED4. Piura - Perú
- MINISTERIO DE SALUD (2000). Vigilancia y Monitoreo. Anexo N° 05: Guía para la toma de muestras. Perú

- MONTENEGRO, Eduardo et al (1998). Sistematización para actualización y caracterización hidrológica en cuenca Taquña. Serie Estudios Hidrológicos, Publicación N° 7. Cochabamba – Bolivia.
- MORGAN, R (1986). Erosión del suelo y conservación. New York.
- MUÑOZ, Ernesto (1998). Sistema de simulación hidrológica para el cálculo de la avenida de proyecto. Serie de Estudios Hidrológicos. Publicación N° 17. Cochabamba – Bolivia.
- OMS (1985). Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Washington D.C. – Estados Unidos de Norte América.
- PRIETO, Carlos (2002). El agua: sus formas, efectos, abastecimiento, usos, daños, control y conservación. Colombia
- REYES, Luis (1992). Hidrología básica. CONCYTEC. Lima.
- ROPER, John (1999). Asuntos forestales: Deforestación, bosques tropicales en disminución. Canadá.
- ROQUE A, Antonio (2004). Manual de Ciudadanía Ambiental Global - Aguas Internacionales. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). México.
- [URL] <http://www.jmarcano.com/bosques/important/agua.html>
- [URL] http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/754/1/MI_IC_YA_2003_033.pdf
- VÁSQUEZ V, Absalón (2000). Manejo de cuencas altoandinas. Tomo 1. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.

MICROCUEENCA ALMENDRA



Captación



Pluviómetro



Limnómetro



Naciente Quebrada



Afloramiento Quebrada


Punto de muestreo

- LEYENDA**
- Puntos Georefenciados
 - Centros Poblados
 - ~ Quebradas
 - ~ Vías
 - Divisoria de Aguas

Cuadrícula.....500m. UTM Zona 18 Sur
Proyección.....Transversal Mercator
Datum Horizontal.....WGS 84



ESCALA GRAFICA




TESIS: Potencial Hídrico de la Microcuenca Almendra para uso potable

UBICACION DE LA MIRA LIMNIMETRICA, CAPTACION Y PLUVIOMETRO Escala: 1/10,000

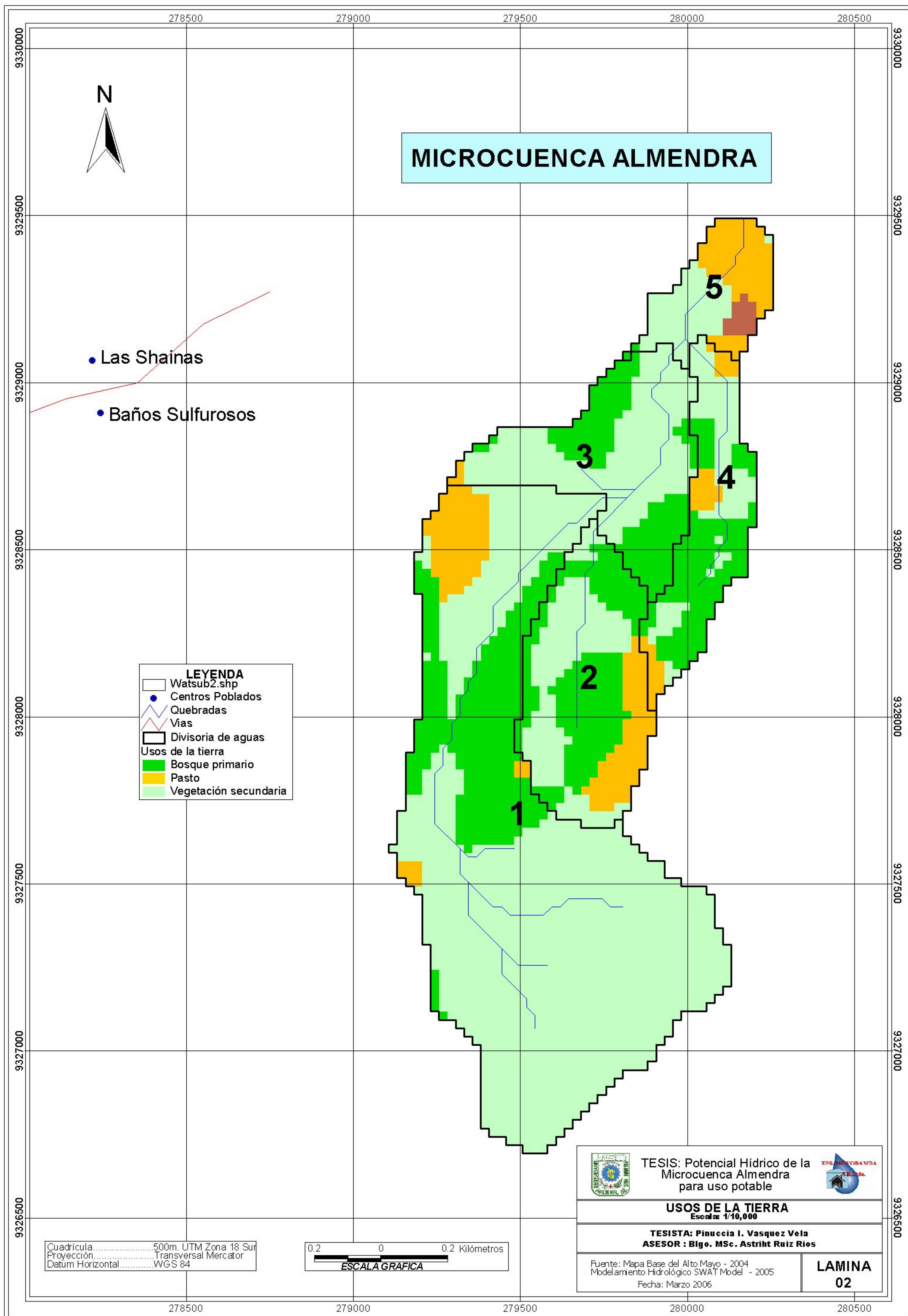
TESISTA: Pinuccia I. Vasquez Vela
ASESOR : Blgo. MSc. Astrit Ruiz Rios

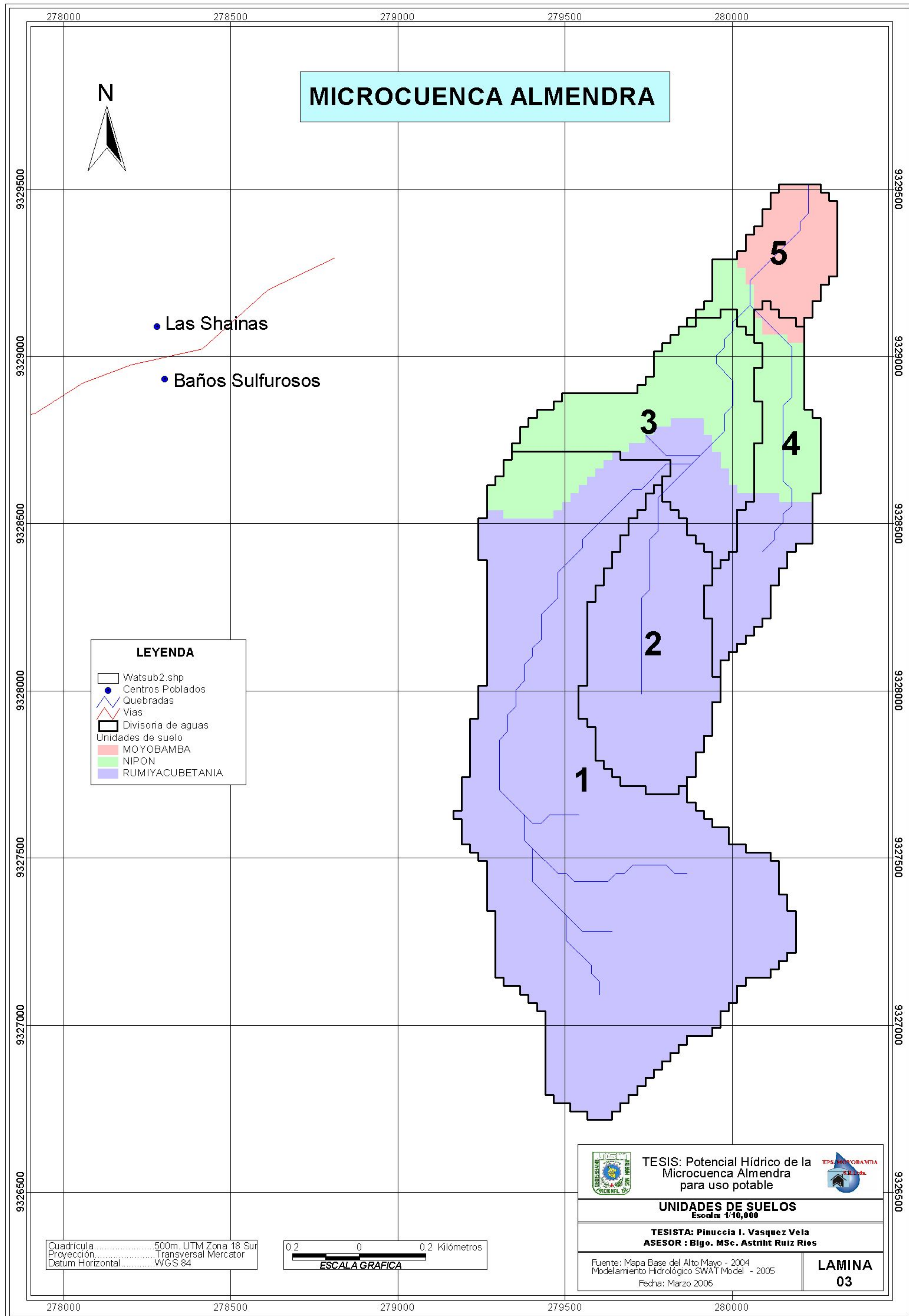
Fuente: Mapa Base del Alto Mayo - 2004
Modelamiento Hidrológico SWAT Model - 2005
Fecha: Marzo 2006

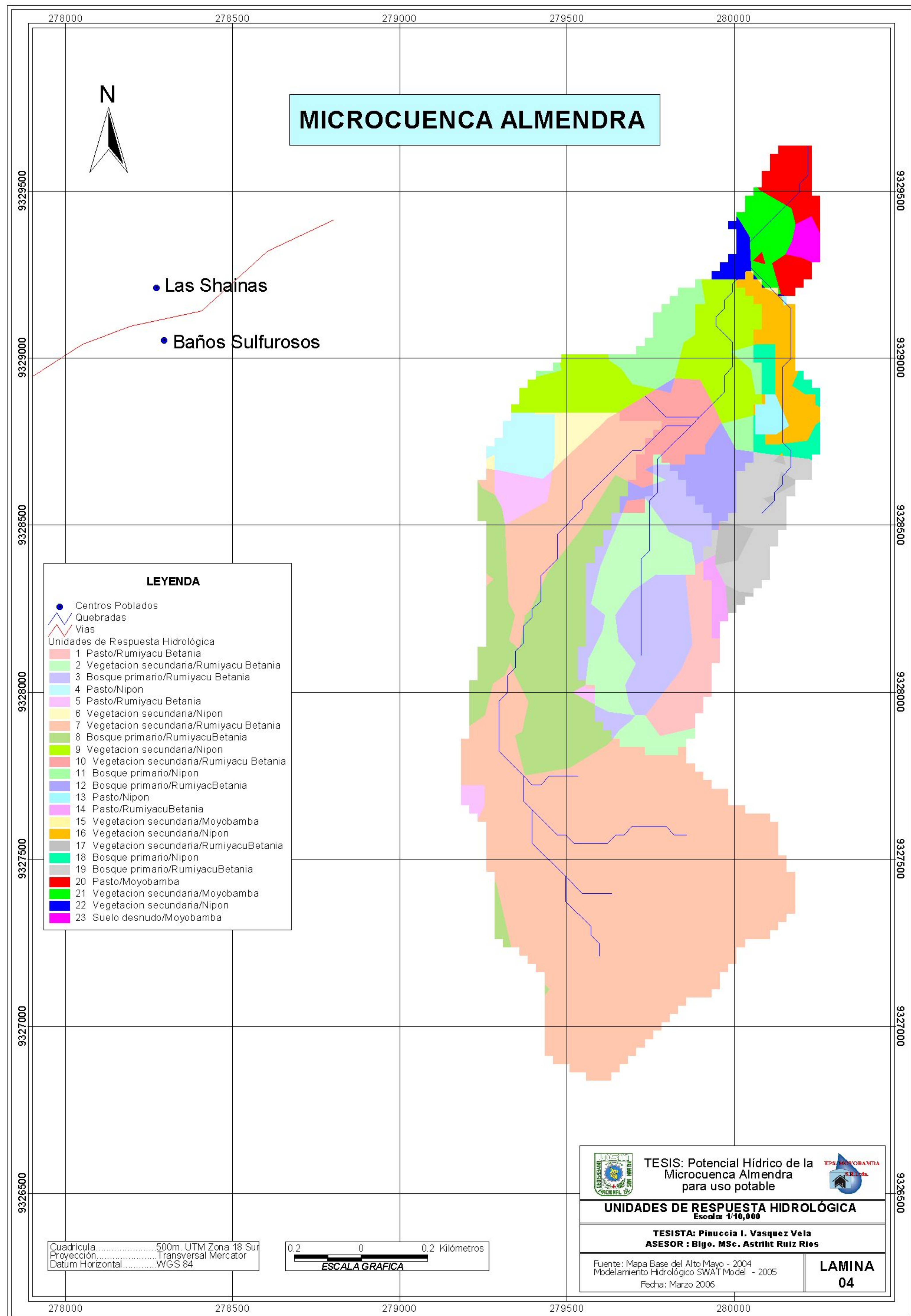


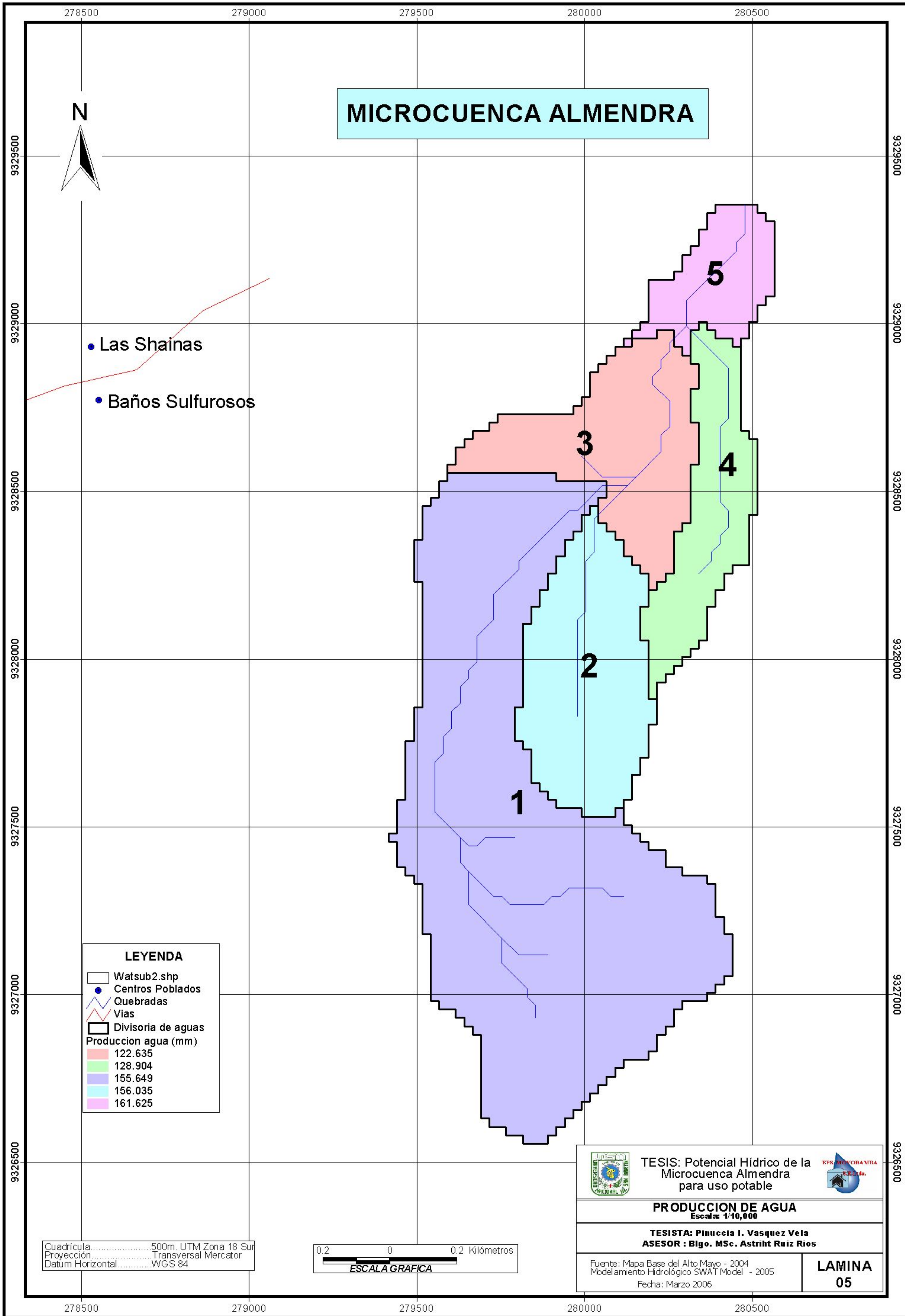
LAMINA 01

Ifurosos









FICHA N° 01
LECTURA LIMNÍMETRO

Quebrada: Almendra

Mes / Año: Diciembre / 2005

<i>FECHA</i>	<i>ALTURA LAMINA DE AGUA (m)</i>		
	<i>06:00</i>	<i>12:00</i>	<i>18:00</i>
<i>1</i>	0.255	0.255	0.255
<i>2</i>	0.255	0.255	0.255
<i>3</i>	0.255	0.255	0.255
<i>4</i>	0.25	0.25	0.25
<i>5</i>	0.25	0.25	0.25
<i>6</i>	0.25	0.25	0.25
<i>7</i>	0.25	0.25	0.25
<i>8</i>	0.25	0.265	0.265
<i>9</i>	0.265	0.255	0.25
<i>10</i>	0.25	0.25	0.25
<i>11</i>	0.25	0.25	0.25
<i>12</i>	0.25	0.25	0.25
<i>13</i>	0.3	0.45	0.34
<i>14</i>	0.3	0.28	0.275
<i>15</i>	0.26	0.265	0.31
<i>16</i>	0.3	0.29	0.29
<i>17</i>	0.28	0.27	0.28
<i>18</i>	0.44	0.35	0.35
<i>19</i>	0.32	0.3	0.27
<i>20</i>	0.27	0.27	0.27
<i>21</i>	0.27	0.28	0.28
<i>22</i>	0.28	0.27	0.27
<i>23</i>	0.27	0.27	0.27
<i>24</i>	0.27	0.27	0.27
<i>25</i>	0.26	0.26	0.26
<i>26</i>	0.26	0.26	0.27
<i>27</i>	0.27	0.27	0.265
<i>28</i>	0.26	0.265	0.265
<i>29</i>	0.26	0.26	0.255
<i>30</i>	0.26	0.255	0.255
<i>31</i>	0.255	0.255	0.255

Fuente: Elaboración propia, 2006

FICHA N° 02
LECTURA PLUVIÓMETRO

Quebrada: Almendra

Mes / Año: Diciembre / 2004

FECHA	LECTURA PROBETA (mm)		
	06:00	12:00	18:00
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	10.6
5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.5
9	0.0	0.6	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	1.0
13	0.0	0.0	0.0
14	3.5	0.0	0.0
15	8.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.5
17	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.7
19	0.0	0.0	0.7
20	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0
22	0.6	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0
25	7.4	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0
27	0.0	12.3	0.6
28	11.0	1.5	0.0
29	0.0	0.6	8.0
30	0.0	0.0	5.5
31	7.6	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia, 2006

FICHA N° 03
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE LA QUEBRADA ALMENDRA

N°	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	MÉTODO DE FILTRACIÓN MEMBRANA		OBSERVACIONES
			Coliformes Totales UFC/100 mL	Coliformes Termotolerantes UFC/100 mL	
Diciembre					
1	01/12/2004	12:25 Hrs.	11	5	Bacteriológico Positivo
Enero					
2	24/01/2004	11:05 Hrs.	186	42	Bacteriológico Positivo
Febrero					
3	15/02/2005	8:45 Hrs.	42	65	Bacteriológico Positivo
Marzo					
4	07/03/2005	09:50 Hrs.	102	64	Bacteriológico Positivo
Abril					
5	24/04/2005	10:00 Hrs.	182	102	Bacteriológico Positivo
Mayo					
6	30/05/2005	9:50 Hrs.	172	93	Bacteriológico Positivo
Junio					
7	08/06/2005	11:45 Hrs.	238	106	Bacteriológico Positivo
Julio					
8	15/07/2005	12:30 Hrs.	375	174	Bacteriológico Positivo
Agosto					
9	20/09/2005	10:05 Hrs.	346	118	Bacteriológico Positivo
Setiembre					
10	05/09/2005	10:20 Hrs.	236	104	Bacteriológico Positivo
Octubre					
11	24/10/2005	01:10 Hrs.	123	13	Bacteriológico Positivo
Noviembre					
12	22/11/2005	01:05 Hrs.	168	96	Bacteriológico Positivo
Diciembre					
13	20/12/2005	10:10 Hrs.	96	42	Bacteriológico Positivo

Fuente: Elaboración propia, 2006

CLORUROS

Reactivos:

- Solución de ión férrico 02 ml
- Tiocinato mercúrico en solución 04 ml
- Agua destilada 25 ml

Procedimiento:

- 1) Instalar el módulo 45.01 en el DR/700 (colorímetro).
- 2) Presionar encendido.
- 3) Después de 2 segundos, aparecerá el número del programa, las unidades de concentración y el cero sugerido. Si es necesario presionar la tecla con la flecha hacia arriba hasta que el programa muestre el número 45.02.1 (código para cloruros).
- 4) Llenar una celda de ml con la muestra hasta la marca.
- 5) Llenar una segunda celda de 25 ml con agua destilada hasta la marca.
- 6) Con una pipeta agregar 2 ml de tiocinato mercúrico en cada celda. Tapar y arremolinar para mezclar.
- 7) Luego agregar 1 ml de ión férrico en cada celda; tapar e invertir para mezclar. Esperar 2 minutos para hacer la lectura.
- 8) Colocar la celda con agua destilada en el DR/700 y presionar cero para calibrar; este debe mostrar 0.0 mg/l en la pantalla.
- 9) Sacar la celda con agua destilada y colocar la muestra preparada en el DR/700, presionar leer y se mostrará el resultado en mg/l de cloruros.

SULFATOS

Reactivos:

- Sulfa Ver 4 02 cojines
- Solución estándar de sulfato 1000 mg/l 01 ml
- Agua destilada 01 litro

Procedimiento:

- 1) Instalar el módulo 45.01 en el DR/700 (colorímetro).
- 2) Presionar encendido.
- 3) Después de 2 segundos, aparecerá el número del programa, las unidades de concentración, la posición decimal y el cero sugerido. Apriete la tecla de programa una o dos veces hasta que se muestre el número 45.000 (código para sulfatos).
- 4) Preparar la solución estándar, adicionando 1 ml de solución estándar de sulfato 1000 mg/l a un frasco volumétrico y completar a un litro con agua destilada. Mezclar.
- 5) Llenar dos celdas de 10 ml hasta la marca, la primera con la solución estándar preparada y la segunda con la muestra.
- 6) Agregar el contenido de un cojín de sulfa ver 4 a cada celda, luego tapar e invertir para mezclar.
- 7) Esperar 5 minutos y colocar la celda con la solución estándar en el DR/700 y presionar cero para calibrar.
- 8) Sacar la celda y colocar la muestra preparada; presionar leer y se mostrará el resultado en mg/l de sulfatos.

NITRATOS

Reactivos:

- Nitra Ver 5 01 cojín

Procedimiento:

- 1) Instalar el módulo 50.01 en el DR/700 (colorímetro).
- 2) Presionar encendido.
- 3) Después de 2 segundos, aparecerá el número del programa, las unidades de concentración, la posición decimal y el cero sugerido. Si es necesario presionar la tecla con la flecha hacia arriba hasta que el despliegue muestre el número 50.05.1 (código para nitratos).
- 4) Llenar una celda de 10 ml con la muestra hasta la marca y añadir el contenido de un cojín de Nitra ver 5. Tapar y agitar durante un minuto para mezclar.
- 5) Llenar otra celda de 10 ml con la muestra hasta la marca. Colocar esta celda en el DR/700 y presionar cero. Esto servirá para calibrar el equipo.
- 6) Luego sacar esta celda y colocar la que tiene la muestra preparada; presionar leer y se mostrará el resultado en mg/l de nitrato.

DUREZA

Reactivos:

- Álcali, solución para prueba de calcio y magnesio 01 ml
- Indicador para calcio y magnesio 01 ml
- Solución EDTA 1 M 01 gota
- Solución EGTA 02 gota

Procedimiento:

- 1) Agregar 100 ml de muestra en un cilindro graduado, añadir 1 ml de indicador para calcio y magnesio usando un gotero graduado. Tapar e invertir para mezclar.
- 2) Luego añadir 1 ml de álcali a la muestra usando el gotero graduado. Tapar e invertir para mezclar.
- 3) Poner 25 ml de la solución preparada en 3 celdas.
- 4) Añadir 1 gota de solución EDTA a una de las celdas, tapar e invertir para mezclar (esta será la muestra para la calibración del equipo).
- 5) Añadir 1 gota de solución EGTA a las otras celdas, tapar e invertir para mezclar.
- 6) Instalar el módulo 52.01 en el DR/700 (colorímetro).
- 7) Presionar encendido.
- 8) Después de 2 segundos, aparecerá el número del programa y las unidades de concentración. Si es necesario presionar la tecla con la flecha hacia arriba hasta que el programa muestre el número 52.01.1 (código para magnesio como CaCO_3).
- 9) Colocar la celda con la muestra que servirá para calibrar el equipo en el DR/700 y presionar cero.
- 10) Colocar la celda con la muestra preparada en el DR/700; presionar leer y se mostrará el resultado en mg/l de magnesio como CaCO_3 .
- 11) Presionar la tecla de programa y la tecla con la flecha hacia arriba hasta que el programa muestre el número 52.09.1 (código para calcio como CaCO_3). Es muy importante no retirar la celda.
- 12) Presionar cero y sacar la celda con la muestra que ya fue analizada y colocar la tercera celda.
- 13) Presionar leer y mostrará el resultado en mg/l de calcio como CaCO_3 .



FOTO N° 01: Realización de aforo en la quebrada Almendra por el método del flotador.



FOTO N° 02: Limnómetro



FOTO N° 05: Equipos de laboratorio
(Incubadoras)



FOTO N° 06: Equipos de laboratorio (esterilizador,
multiparámetro y contador de colonias)



FOTO N° 07: Equipo de laboratorio (bomba de vacío)



FOTO N° 08: Realización de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.



FOTO N° 03: Pluviometro

FOTO N° 04: Equipos de laboratorio
(Turbidímetro y pHmetro)

